



M 2014

# MELHORIA CONTÍNUA APOIADA EM TÉCNICAS DE CONTROLO ESTATÍSTICO

**LUÍS PEDRO MARTINS LEITÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA



# **Melhoria Contínua Apoiada em Técnicas de Controlo Estatístico**



## **FEUP**

*Luís Pedro Martins Leitão*

### **Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Manuel Pina Marques

Orientador na Amorim & Irmãos, S.A. – UI Champcork: Eng.º Luís Moreira

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**

**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

*Aos meus pais*

*Ao meu irmão*

*À D.P.*

## Resumo

---

No clima de crise económica que se vive no país, é essencial para as empresas o aumento da eficiência dos seus processos produtivos, tirando o máximo partido dos seus recursos e reduzindo os desperdícios. É, no entanto, imperativo fazê-lo sem inflacionar o preço de venda dos produtos, uma vez que o poder de compra dos consumidores tem vindo a diminuir em virtude da atual recessão económica. As empresas necessitam igualmente de manter a sua competitividade face ao aparecimento de novos produtos e de novas empresas no mercado. Para tal, é necessário aumentar a eficiência do processo, implementando estratégias de aumento de produtividade. Foi com este objetivo que foram implementadas ferramentas de melhoria contínua para integrar o esforço de todos os trabalhadores no processo produtivo, com vista a aumentar a produtividade desse mesmo processo produtivo. O projeto de realizado permitiu também a implementação de estratégias de controlo de qualidade que não eram utilizadas anteriormente. Com esta nova metodologia, os próprios operadores são capazes de efetuar testes de controlo de qualidade, reportando os seus resultados ao departamento de Controlo da Qualidade e à Direção Industrial, havendo uma transmissão de informação em tempo real do que se passa na unidade industrial, o que permite a deteção e resolução de eventuais anomalias.

O projeto de Dissertação consiste no estudo das diferentes variáveis que influenciam as características do produto final, tendo em conta as restrições impostas pelos clientes. Há, no entanto, uma heterogeneidade nas especificações dos produtos. Para certos clientes os intervalos de tolerância das especificações das rolhas poderão ser mais apertados, pelo que é necessário perceber quais são os fatores que devem ser controlados para que seja possível cumprir os requisitos impostos. Para isso é necessária e fundamental a aplicação de testes estatísticos para o controlo do processo.

## **Continuous Improvement Supported by Statistical Control Techniques**

### **Abstract**

---

For the last few years, the country has been living in a climate of financial crisis, so it is essential that companies improve the efficiency of their industrial processes, reducing waste and taking full advantage of their resources. However, it is imperative to do so without increasing the final price of the products, because of restraints introduced by the lowering purchase power of the company's clients. The solution is to increase, as it was said before, process efficiency, introducing strategies to increase productivity. With this goal in mind, the dissertation project was created, which is based on the application of continuous improvement tools to introduce the cooperation of all the workers and therefore increase their productivity. If all the workers know what the company's goals are, then everyone is in tune with the process, and there is a real time feedback on the production results, which allows a quick identification of an eventual issue and its resolution.

This particular project requires the study of all the different variables which affect the characteristics of the finished product and customer satisfaction. However, some customers require more restrictive specifications, and this introduces a need to learn exactly which factors influence the final result in order to meet these specifications. With this thought in mind, it is necessary to apply statistical tests in order to properly control the manufacturing process.

## **Agradecimentos**

---

À Amorim & Irmãos, SA pela oportunidade e pelo apoio prestado durante o decorrer do projeto.

A todos os colaboradores da Champcork pelo auxílio no desenvolvimento de projetos práticos, em particular ao Manuel Pinto e Pedro Batista da Moldação, ao Hugo Santos e Jorge Amorim do Tratamento e às Sras. Clementina Sousa e Conceição Pereira do Laboratório de Qualidade.

Ao Eng.º Luís Moreira por criar um ambiente de trabalho adequado, pelo acompanhamento contínuo do projeto, pela orientação, motivação e por todos os conhecimentos transmitidos durante o período do projeto.

Ao Dr. Alexandre Silva pelo acompanhamento e orientação nos ensaios práticos realizados, e pelos conhecimentos de processo transmitidos.

Ao Prof. Manuel Pina Marques pelo acompanhamento, orientação académica e rigor no apoio ao desenvolvimento de todos os aspetos da Dissertação.

Ao Eng.º Nuno Martins, aos colegas Pedro Pinto da Costa, Telmo Pinto e Tiago Correia pela discussão de ideias e sugestões de melhoria durante o desenvolvimento do projeto.

À minha família e à Daniela Pacharo por possibilitarem e apoiarem todo o processo desde o início do curso até à conclusão da tese.

## Índice

---

1.	Introdução.....	1
1.1.	Apresentação da Empresa – Amorim & Irmãos, SA – UI Champcork .....	2
1.2.	Caracterização do Projeto e Metodologia .....	4
1.3.	Organização da Dissertação.....	4
2.	Enquadramento Teórico.....	5
2.1.	<i>Lean Manufacturing</i> .....	5
2.2.	<i>Kaizen</i> .....	5
2.3.	Ferramentas <i>Kaizen</i> .....	6
2.3.1.	5S e Gestão Visual.....	6
2.3.2.	<i>Kaizen</i> Diário .....	10
2.4.	Ferramentas Estatísticas para Controlo do Processo.....	11
2.4.1.	O Teste de Hipóteses.....	11
2.4.1.1.	O teste à diferença entre valores esperados (Teste $t$ ) .....	12
2.4.1.2.	O teste estatístico à razão entre variâncias (Teste $F$ ).....	13
2.4.1.3.	Testes de qualidade de ajuste .....	14
2.4.2.	Análise de Variância (ANOVA).....	16
2.4.3.	Capacidade do processo produtivo – Cp e Cp <sub>k</sub> .....	18
2.4.4.	Modelos de Regressão Linear Múltipla .....	21
3.	O Problema a Estudar .....	23
3.1.	Champcork – O Processo Industrial .....	24
3.2.	Apresentação Detalhada dos Problemas.....	30
3.3.	Controlo de qualidade no tratamento superficial das rolhas .....	31
3.3.1.	Ensaio Realizados.....	33
3.3.1.1.	Procedimento Geral .....	33
3.3.1.2.	Estudo da influência da massa das rolhas nas forças de inserção .....	34
3.3.1.3.	Estudo da influência da quantidade de rolhas a tratar no mesmo tambor .....	37
3.3.1.4.	Estudo da influência do braço de introdução do tratamento nas forças de inserção .....	39
3.3.1.5.	Estudo da influência do tempo de estabilização após tratamento nas forças de inserção.....	40
3.3.2.	Desenvolvimento de Modelos de Regressão Linear Múltipla.....	42
3.3.3.	Metodologia de Desenho de Experiências .....	52
3.4.	Controlo de qualidade e monitorização do processo no setor da Moldação .....	54



3.4.1.	Estudo da influência da percentagem de cola nas características do produto .....	54
3.4.2.	Controlo diário de massas dos corpos da Moldação – $C_p$ e $C_{p_k}$ .....	59
3.4.3.	Análise do <i>Mix</i> de Aparas versus $C_p$ e $C_{p_k}$ dos corpos .....	60
3.4.4.	Estudo de otimização dos tempos de ciclo – Moldadora 6.....	62
4.	Resultados Globais Obtidos .....	66
4.1.	Setor do Tratamento Superficial .....	66
4.2.	Setor da Moldação.....	66
5.	Considerações Finais e Trabalhos Futuros.....	68
	Referências Bibliográficas .....	69
	Anexos.....	71
	Anexo A – Tabelas Auxiliares do Teste de Shapiro-Wilk.....	71
	Anexo B – Método dos Mínimos Quadrados na determinação dos parâmetros de um Modelo de Regressão Linear Múltipla .....	73
	Anexo C – Exemplo de Tabela ANOVA para Modelo de Regressão Linear Múltipla .....	75
	Anexo D – Ensaio realizados no setor do tratamento superficial – Resultados.....	76
	Anexo E – Dados auxiliares dos Modelos de Regressão Linear Múltipla.....	81
	Anexo F – Ensaio de Absorção – Resultados .....	89
	Anexo G – Controlo diário das massas dos corpos da Moldação – Dados .....	90
	Anexo H – Análise do <i>Mix</i> de Aparas no setor da Moldação – Dados Auxiliares .....	92

## Índice de Figuras

---

Figura 1 - Dados da Corticeira Amorim relativos a 2013 (Fonte: Manual de Acolhimento 2014) .....	2
Figura 2 – Rolhas Naturais.....	3
Figura 3 – Rolha Técnica - Champanhe.....	3
Figura 4 - Objetivos dos 5S (Fonte: Amorim & Irmãos SA) .....	7
Figura 5 - Exemplos de Gestão Visual aplicados à ordenação e níveis de reaprovisionamento (Fonte: Amorim & Irmãos S.A.).....	9
Figura 6 - Quadro Kaizen Diário da Unidade Industrial Champcork.....	10
Figura 7 - Rolha antes (esquerda) e após (direita) engarrafamento.....	23
Figura 8 - Rolha antes (esquerda) e após (direita) engarrafamento.....	23
Figura 9 - Esquema representativo do processo produtivo .....	24
Figura 10 - Setor da Moldação .....	25
Figura 11 - Máquina de colagem de discos.....	26
Figura 12 - Setor de acabamentos mecânicos .....	26
Figura 13 - Balança no setor de pesagem .....	27
Figura 14 - Equipamento de escolha eletrónica .....	27
Figura 15 - Posto de marcação e controlo visual .....	28
Figura 16 - Setor de tratamento superficial .....	29
Figura 17 - Maxilas de compressão e pistão de inserção (Fonte: <a href="http://www.egitron.pt/client/skins/portuguese/produtos.asp?categoria=186">http://www.egitron.pt/client/skins/portuguese/produtos.asp?categoria=186</a> ).....	32
Figura 18- Equipamento de medição de forças de inserção e compressão CITCork (Fonte: <a href="http://www.egitron.pt/client/skins/portuguese/produtos.asp?categoria=186">http://www.egitron.pt/client/skins/portuguese/produtos.asp?categoria=186</a> ).....	32
Figura 19 - Histograma de massas para as diferentes percentagens de cola.....	56
Figura 20 - Equipamento para ensaios de vedação .....	57
Figura 21- Histogramas relativos à semana 7 de produção da moldadora 1 (esquerda) e moldadora 2 (direita) .....	59
Figura 23 - Histogramas relativos à semana 12 e 19 de produção da moldadora 2 .....	61

## Índice de Gráficos

---

Gráfico 1 - Distribuição Normal das observações e limites de especificação (Fonte: Correia, Marques e Benatia).....	19
Gráfico 2 - Histograma e Curva de Densidade com limites de especificação (Fonte: Correia, Marques e Benatia 2002).....	20

Gráfico 3 - Exemplos de observações com coeficientes de determinação diferentes (Fonte: <a href="http://udel.edu/~mcdonald/statregression.html">http://udel.edu/~mcdonald/statregression.html</a> ).....	22
Gráfico 4- Histograma de Forças de Inserção.....	43
Gráfico 5 - Histograma de Forças de Inserção.....	43
Gráfico 6 - Força de Inserção vs Temperatura Ambiente (Todas as Humidades Relativas).....	45
Gráfico 7 - Força de Inserção vs Temperatura Ambiente para Hr constante .....	45
Gráfico 8 - Evolução do Mix de Aparas da semana 1 até à semana 12.....	60
Gráfico 9 - Evolução do Mix de Aparas a partir da semana 12 .....	61
Gráfico 10 - Histograma dos tempos medidos para a folga .....	64
Gráfico 11 - Histograma de Forças de Inserção para o calibre 47x29.5 .....	81
Gráfico 12 - Histograma das Forças de Compressão para o calibre 47x29.5 .....	82
Gráfico 13 - Histograma de Forças de Inserção para o calibre 48x31 .....	85
Gráfico 14 - Histograma das Forças de Compressão para o calibre 48x31 .....	86
Gráfico 15 - Evolução do consumo de cada tipo de apara (em %) por semana .....	93
Gráfico 16 - Evolução do mix de aparas triturado (em %) por semana .....	93

## Índice de Tabelas

---

Tabela 1 - Tabela ANOVA.....	17
Tabela 2 - Estatística descritiva dos ensaios de influência da massa nas forças de inserção .....	34
Tabela 3 - Tabela ANOVA referente ao ensaio realizado em $T_0$ .....	35
Tabela 4 - Tabela ANOVA referente ao ensaio realizado em $T_7$ .....	35
Tabela 5 - Tabela ANOVA referente ao ensaio realizado em $T_{30}$ .....	35
Tabela 6 - Resultados do Método de Scheffé referente ao ensaio realizado em $T_0$ .....	36
Tabela 7 - Resultados do Método de Scheffé referente ao ensaio realizado em $T_7$ .....	36
Tabela 8 - Resultados do Método de Scheffé referente ao ensaio realizado em $T_{30}$ .....	36
Tabela 9 - Estatística descritiva dos ensaios de influência da quantidade de rolhas tratadas nas forças de inserção.....	37
Tabela 10 - Aplicação do teste $t$ - Resultados.....	38
Tabela 11 - Estatística descritiva dos ensaios de influência do movimento do braço de introdução do tratamento nas forças de inserção .....	40
Tabela 12 - Estatística descritiva do ensaio de influência do tempo de estabilização nas forças de inserção.....	41
Tabela 13 - Estatística descritiva para os modelos de regressão a desenvolver .....	42
Tabela 14 - Estatística da Regressão .....	44

Tabela 15 - Tabela ANOVA do modelo de regressão com temperatura e humidade .....	44
Tabela 16 - Parâmetros do modelo de regressão com temperatura e humidade .....	44
Tabela 17 - Estatística de regressão para o modelo só com a temperatura .....	47
Tabela 18 - Tabela ANOVA do modelo de regressão só com a temperatura .....	47
Tabela 19 - Parâmetros do modelo de regressão só com temperatura .....	47
Tabela 20 - Estatística de regressão para o modelo só com a humidade .....	47
Tabela 21 - Parâmetros do modelo de regressão só com temperatura .....	48
Tabela 22 - Tabela ANOVA do modelo de regressão só com a humidade.....	48
Tabela 23 - Tabela ANOVA para análise do efeito da humidade com a temperatura já incluída no modelo..	48
Tabela 24 - Intervalos de controlo da força de inserção (daN) definidos para o calibre 48x30.5.....	49
Tabela 25 - Intervalos de controlo da força de inserção (daN) definidos para o calibre 48x29.5.....	50
Tabela 26 - Intervalos de controlo da força de inserção (daN) definidos para o calibre 48x31.....	51
Tabela 27 - Estatística descritiva da medição das massas para as diferentes percentagens de cola .....	55
Tabela 28 - Resultados do Ensaio de Vedação.....	57
Tabela 29 - Estatística descritiva do ensaio de absorção .....	58
Tabela 30 - Tempos operacionais para o ciclo de mistura.....	63
Tabela 31 - Proposta de aumento de cadência da Moldadora 6 .....	65
Tabela 32 - Coeficientes de Shapiro Wilk por dimensão da amostra .....	71
Tabela 33 - Valor de prova de acordo com estatística de teste e dimensão da amostra.....	72
Tabela 34 - Estatística de Regressão .....	75
Tabela 35 - Tabela ANOVA para modelo de regressão.....	75
Tabela 36 - Coeficientes do modelo de regressão .....	75
Tabela 37 – Coeficientes de Shapiro-Wilk.....	76
Tabela 38 – Cálculo das diferenças.....	76
Tabela 39 - Resultados do teste de Shapiro-Wilk.....	76
Tabela 40 - ANOVA para o instante $T_0$ .....	77
Tabela 41 - ANOVA para o instante $T_7$ .....	77
Tabela 42 - ANOVA para o instante $T_{30}$ .....	77
Tabela 43 - Método de Scheffé para o instante $T_0$ .....	77
Tabela 44 - Método de Scheffé para o instante $T_7$ .....	77
Tabela 45 - Método de Scheffé para o instante $T_{30}$ .....	78
Tabela 46 – Determinação de b.....	78
Tabela 47 – Resultados do teste de Shapiro-Wilk .....	78

Tabela 48 - ANOVA para o instante $T_7$ .....	79
Tabela 49 - ANOVA para o instante $T_{30}$ .....	79
Tabela 50 - Método de Scheffé para o instante $T_7$ .....	79
Tabela 51 - Método de Scheffé para o instante $T_{30}$ .....	79
Tabela 52 - Determinação do coeficiente b .....	80
Tabela 53 - Resultados do teste de Shapiro-Wilk.....	80
Tabela 54 - Estatística descritiva para os modelos de regressão a desenvolver.....	81
Tabela 55 - Estatística do modelo .....	82
Tabela 56 - ANOVA para o modelo de regressão com temperatura e humidade.....	82
Tabela 57 - Coeficientes do modelo de regressão para o calibre 47x29.5 .....	82
Tabela 58 - Estatística do modelo considerando apenas a temperatura .....	83
Tabela 59 - ANOVA para o modelo de regressão com a temperatura .....	83
Tabela 60 - Coeficientes do modelo considerando a temperatura apenas.....	83
Tabela 61 - Estatística do modelo considerando apenas a humidade.....	83
Tabela 62 - ANOVA para o modelo de regressão considerando apenas a humidade.....	84
Tabela 63 - Coeficientes do modelo de regressão considerando apenas a humidade.....	84
Tabela 64 - Tabela ANOVA para análise do efeito da humidade com a temperatura já incluída no modelo..	84
Tabela 65 - Estatística descritiva para os modelos de regressão a desenvolver.....	85
Tabela 66 - Estatística do modelo .....	86
Tabela 67 - ANOVA para o modelo de regressão com temperatura e humidade.....	86
Tabela 68 - Coeficientes do modelo de regressão para o calibre 48x31 .....	86
Tabela 69 - Estatística do modelo considerando apenas a temperatura .....	87
Tabela 70 - ANOVA para o modelo de regressão com a temperatura .....	87
Tabela 71 - Coeficientes do modelo considerando a temperatura apenas.....	87
Tabela 72 - Estatística do modelo considerando apenas a humidade.....	87
Tabela 73 - ANOVA para o modelo de regressão considerando apenas a humidade.....	88
Tabela 74 - Coeficientes do modelo de regressão considerando apenas a humidade.....	88
Tabela 75 - Tabela ANOVA para análise do efeito da humidade com a temperatura já incluída no modelo..	88
Tabela 76 - Estatística descritiva relativa ao ensaio de absorção .....	89
Tabela 77 - ANOVA para o ensaio de absorção.....	89
Tabela 78 - Registo semanal de $Cp_k$ por moldadora .....	90
Tabela 79 - Registo semanal de $Cp$ para cada moldadora.....	91
Tabela 80 - Registo da apara consumida por semana na unidade industrial Champcork .....	92

## 1. Introdução

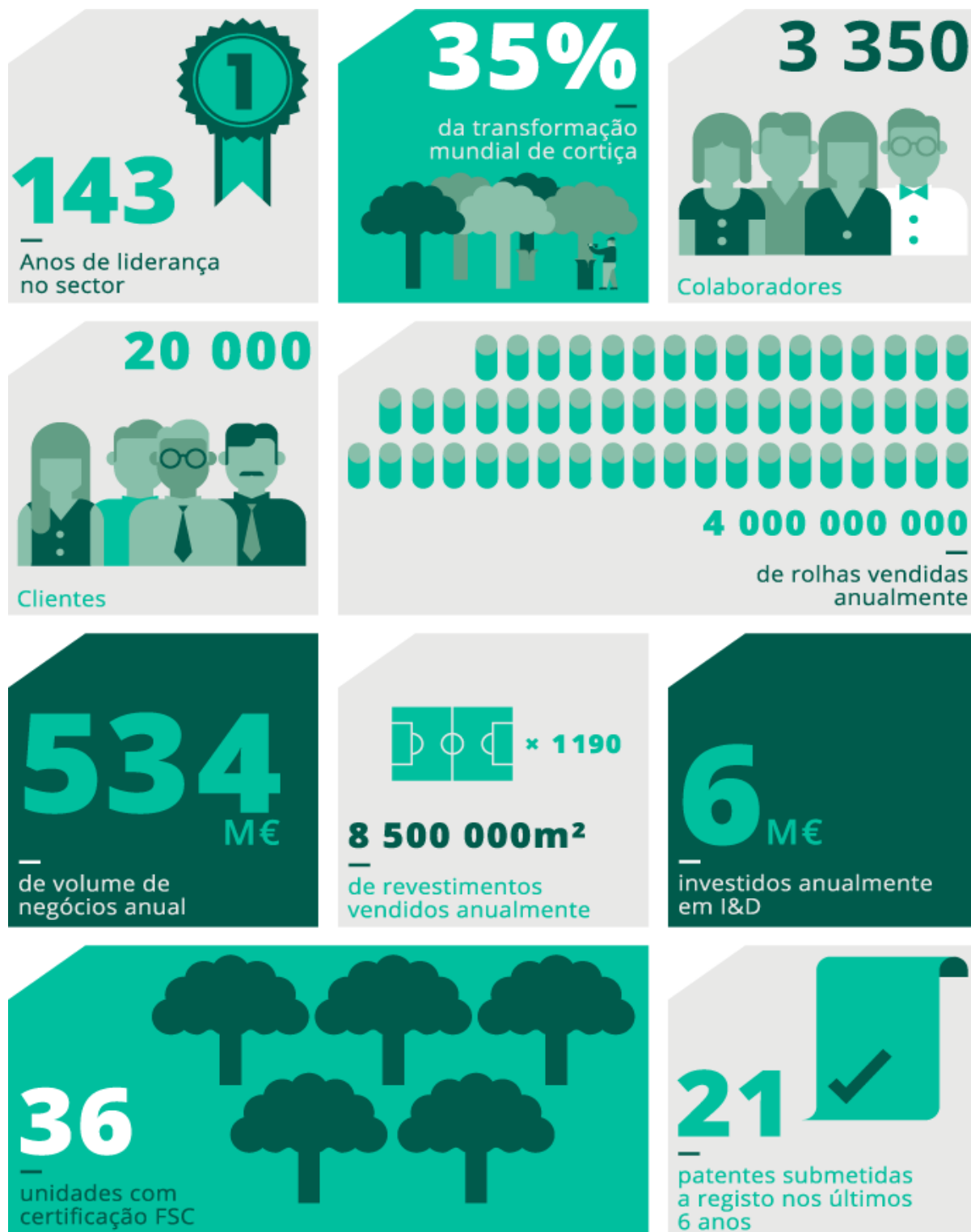
---

O presente relatório foi realizado no âmbito da Dissertação de Mestrado incluída no plano de estudos do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A proposta surgiu da empresa Amorim & Irmãos, SA – UI Champcork, com vista à realização do projeto de “Implementação do sistema de melhoria contínua no âmbito do Projeto – *CorkMais*”.

O projeto proposto surgiu não só de uma necessidade de aumentar a eficiência do processo, eliminando desperdícios, mas também da necessidade de estreitar os limites de controlo das especificações do produto, o que obriga a uma redução da variabilidade do processo produtivo, e potenciará um aumento da qualidade final do produto. Com esse objetivo em vista foram estudadas e aplicadas técnicas quantitativas para controlo do processo, como ferramentas de melhoria contínua. No processo em estudo foram já implementadas melhorias utilizando ferramentas *Kaizen* em várias áreas, pelo que o passo seguinte consistiu em estender esta filosofia a outras partes fundamentais do processo, uma vez que a qualidade do produto exigida pelos clientes da Champcork tem vindo a aumentar. Desta forma, a solução pretendida é aquela que permita um melhor controlo de qualidade, com especificações mais apertadas. Para conseguir atingir este objetivo, é necessário continuar a implementação de ferramentas *Kaizen* e aplicação de técnicas de controlo estatístico, como testes de hipóteses e modelos de regressão, analisando todo o processo de forma a reduzir a sua variabilidade e aumentar a sua eficiência.

### 1.1. Apresentação da Empresa – Amorim & Irmãos, SA – UI Champcork

A Amorim & Irmãos, S.A. pertence ao grupo Corticeira Amorim, S.G.P.S.,S.A., e é responsável pela unidade de negócio de rolhas de cortiça. Na Figura 1 estão apresentados alguns dados relativos à Corticeira Amorim (Manual de Acolhimento 2014):



**Figura 1** - Dados da Corticeira Amorim relativos a 2013 (Fonte: Manual de Acolhimento 2014)

A unidade de negócio “Rolhas” integra dezenas de empresas de produção e distribuição nos principais países produtores de vinho, desde a Europa aos mercados da África do Sul, Austrália e América do Sul.

A par das rolhas naturais (Figura 3), a introdução de rolhas técnicas, tais como as Twin Top<sup>®</sup>, rolhas de champanhe e rolhas Neutrocork<sup>®</sup>, deu origem a uma gama alargada de opções de grande qualidade.

A Champcork (CHK) encontra-se no setor das rolhas técnicas (Figura 3), produzindo rolhas de champanhe para clientes em todo o mundo. Esta unidade é certificada pelas normas ISO 9001, ISO 22000, CIRP (5ª versão) e FSC (STD-40-004 – *Forest Stewardship Council*), emprega cerca de 125 pessoas e produz cerca de 480 milhões de rolhas de champanhe por ano. Na Figura 2 é possível observar uma rolha de champanhe antes do seu engarrafamento (Corticeira Amorim 2013).



**Figura 2 – Rolhas Naturais**



**Figura 3 – Rolha Técnica - Champanhe**



## 1.2. Caracterização do Projeto e Metodologia

---

A proposta para esta dissertação surgiu no âmbito do projeto *CorkMais*, que procura, em conjunto com o Instituto Kaizen, implementar ferramentas *Kaizen* no grupo Amorim & Irmãos. As ferramentas utilizadas neste projeto são: os 5S, a Gestão Visual, o *Standard Work* e o *Kaizen* Diário. Com o auxílio destas ferramentas foi possível motivar os colaboradores e promover a comunicação entre todos, o que resultou num aumento significativo de eficiência e, consequentemente, de produtividade.

A metodologia *Kaizen* baseia-se na melhoria contínua, pelo que é necessário um acompanhamento permanente de todo o processo, e uma procura de aumentos de eficiência e produtividade. Neste contexto, foi proposto o acompanhamento do controlo de qualidade inicialmente no setor do tratamento superficial e, mais tarde, no setor da moldação. O projeto incidiu principalmente no controlo do processo produtivo com recurso a ferramentas estatísticas, analisando os fatores que influenciam as propriedades do produto final e procurando novas formas de reduzir estas propriedades.

Com vista a determinar quais os fatores que influenciam as características do produto após o tratamento superficial foram elaboradas diversas experiências, e aos resultados das mesmas foram aplicados testes estatísticos para estudo de hipóteses. Após a realização deste estudo foi analisada a possibilidade da elaboração de um Plano de Experiências para facilitar a realização de ensaios no futuro.

Com o intuito de controlo de especificações foram também aplicados Modelos de Regressão Múltipla no setor do tratamento superficial.

No setor da moldação foram aplicadas ferramentas estatísticas de capacidade e centragem do processo, com vista a perceber a influência de alguns fatores nas características do produto final, procurando avaliar a possibilidade de implementar medidas de redução da variabilidade introduzida por esses mesmos fatores nas características do produto.

## 1.3. Organização da Dissertação

---

O presente documento encontra-se dividido em quatro partes:

Neste capítulo é feita uma introdução ao projeto e à empresa onde este foi desenvolvido. No segundo capítulo é apresentado o conteúdo teórico que irá permitir sustentar a metodologia aplicada durante o trabalho. No terceiro capítulo é exposto o problema a tratar com maior detalhe, bem como toda a metodologia aplicada no decorrer do projeto de Dissertação. De seguida, no quarto capítulo, são apresentados os resultados obtidos.

Finalmente são apresentadas as principais considerações finais e algumas perspetivas para trabalhos futuros.

## 2. Enquadramento Teórico

---

### 2.1. *Lean Manufacturing*

---

A filosofia *Lean* surgiu em 1950 após a visita do engenheiro japonês Eiji Toyoda à fábrica da Ford em Detroit. Esta visita teve como intuito a análise do processo produtivo desenvolvido por Henry Ford. O sistema de linha de montagem de Henry Ford revolucionou a indústria no início do século 20 com a introdução da produção em massa. Este novo sistema baseava-se na utilização de trabalhadores não qualificados que executavam tarefas curtas para produzir um elevado número de peças padronizadas. Isto permitiu uma redução substancial dos custos unitário. Um dos aspetos mais importantes na metodologia de Ford foi a divisão do trabalho. Os operários realizavam a montagem, enquanto os engenheiros industriais e a equipa de gestão de pessoal organizavam e otimizavam a linha de montagem (Womack, Jones e Roos 1991).

A filosofia *Lean* tem o intuito de melhorar o sistema de produção através da eliminação do desperdício. Esta filosofia baseia-se na eliminação de desperdícios e aumento de eficiência. Atualmente é aplicada em diversas indústrias, obtendo-se resultados positivos, tais como:

- redução de custos;
- aumento da qualidade;
- redução de tempo de processamento;
- aumento de produtividade (Urbance s.d.).

### 2.2. *Kaizen*

---

*Kaizen* é uma palavra de origem japonesa que significa mudar (*kai*) para melhor (*zen*) através de um processo de melhoria contínua. Este conceito pode ser aplicado na vida pessoal de um indivíduo ou num ambiente empresarial. Neste último, o *Kaizen* permite reduzir os custos e potenciar a produtividade. Considerado como o pai do *Kaizen*, o Professor japonês Masaaki releva a importância do *gemba* (palavra japonesa que significa “local onde as coisas realmente acontecem”), o local de trabalho onde o verdadeiro valor é criado ou acrescentado. Além disso, o envolvimento de todos os colaboradores da empresa é essencial, porque esta é uma metodologia que não se concentra nas elites de uma empresa, mas que promove a comunicação e partilha de informação entre todos os elementos pertencentes ao grupo de trabalho.

A prática de melhoria contínua procura o bem, não só da empresa, como também dos seus funcionários, partindo do princípio de que o tempo é o melhor indicador de competitividade. Para além disto, reconhece a importância de atuar, identificar e eliminar os desperdícios existentes na empresa, seja em processos produtivos, produtos novos, manutenção de máquinas ou também processos administrativos (Imai 1997).

Segundo esta prática, é sempre possível melhorar um processo ou serviço, e a procura pela melhoria deve ser constante, seja ela na estrutura da empresa ou no indivíduo. O Toyota Production System (TPS) é um dos exemplos mais conhecidos de aplicação dos princípios *Kaizen* (*Kaizen* s.d.).

Na filosofia *Kaizen*, todos os funcionários são encorajados a apresentar sugestões que permitam melhorar o processo produtivo. Em 1997, Imai afirma que a filosofia *Kaizen* considera as pessoas o ativo mais importante de uma empresa, e faz com que todos se sintam como parte da solução, promovendo uma relação de transparência entre os gestores e colaboradores, o que resulta num melhor entendimento e aumento de produtividade (Batista 2013).

Na maioria dos casos as ideias propostas não sugerem grandes mudanças. A metodologia *Kaizen* baseia-se em fazer pequenas mudanças numa base regular, melhorando continuamente a produtividade, segurança e eficiência, reduzindo o desperdício. As sugestões não estão limitadas a uma área específica, tal como a produção ou os escritórios. A metodologia *Kaizen* baseia-se em fazer alterações em qualquer lugar onde possam ser feitas melhorias. A filosofia ocidental pode ser resumida da seguinte forma: "Se não está estragado, não se conserta." A filosofia *Kaizen* é "Fazê-lo melhor, torná-lo melhor, mesmo se não for necessário, porque, se não o fizermos, não podemos competir com aqueles que o fazem." (Stephenson 2013).

### 2.3. Ferramentas *Kaizen*

---

A filosofia *Kaizen* deu origem a diversas ferramentas úteis no desenvolvimento ou reestruturação de uma unidade industrial. As mais utilizadas são os 5S e a Gestão Visual. Estas ferramentas, quando utilizadas em conjunto, poderão levar a melhorias consideráveis em termos de eficiência de processo e motivação de pessoal, o que por sua vez irá gerar aumentos de produtividade. São apresentadas de seguida as ferramentas *Kaizen* implementadas na Champcork.

#### 2.3.1. 5S e Gestão Visual

Os 5S é uma das ferramentas *Kaizen* mais utilizadas, uma vez que a sua simplicidade e universalidade permitem que seja aplicada em quase todos os tipos de organizações. No entanto, apesar da sua simplicidade, a compreensão desta ferramenta é essencial para garantir a sua correta aplicação.

Os principais objetivos que se pretende atingir com a aplicação dos 5S são:

- A redução do desperdício (*Muda*);
- A eliminação da instabilidade (*Muri*);
- A redução da variabilidade (*Mura*);
- O aumento de produtividade.

A ferramenta 5S foi desenhada para criar um local de trabalho visual, ou seja, um ambiente de trabalho que se explica, ordena e melhora de forma autónoma. Num local de trabalho visual, uma situação fora do padrão torna-se imediatamente óbvia e os trabalhadores podem corrigi-la facilmente (Dennis 2007).

O nome 5S tem origem em cinco palavras japonesas: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke*. Na língua portuguesa são geralmente traduzidas, respetivamente, para: Triagem, Arrumação, Limpeza, Normalização e Disciplina. É com a aplicação destes conceitos que se torna possível atingir os objetivos referidos previamente.

Os 5S são por vezes confundidos com uma simples limpeza e arrumação, sendo por isso essencial enfatizar a importância desta ferramenta, para que os colaboradores não a considerem uma perda de tempo. O tempo perdido agora a limpar, arrumar e normalizar poderá trazer grandes ganhos em termos de redução de variabilidade no processo e aumento de produtividade. Para além destes ganhos, num ambiente limpo e organizado torna-se muito mais óbvio quando algo não está bem ou está fora do sítio. A Figura 4 esquematiza os objetivos dos 5S.

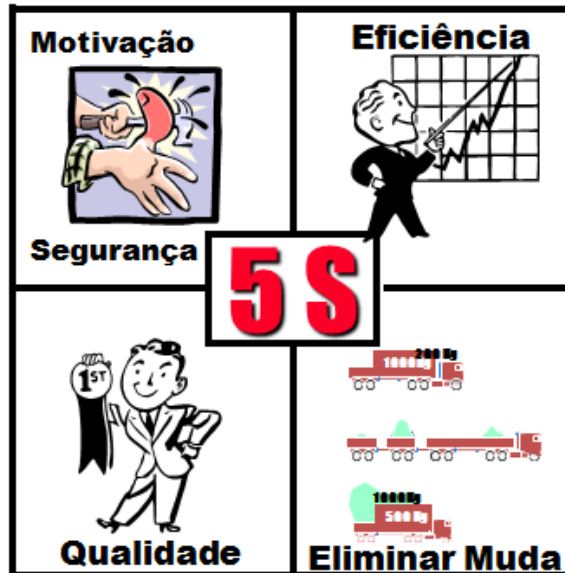


Figura 4 - Objetivos dos 5S (Fonte: Amorim & Irmãos SA)

Para compreender melhor esta ferramenta é necessário compreender todas as etapas:

**Seiri (Triagem)** – Esta primeira etapa dos 5S permite identificar o que é desnecessário e eliminá-lo. Num ambiente fabril existe a tendência de acumular objetos, desde ferramentas a equipamento de limpeza e documentos. Removendo tudo o que não é essencial, consegue-se “emagrecer” o setor, tornando-o mais focado e eficiente. Nesta fase é importante combater o hábito de ir guardando coisas, pois dessa forma facilmente se retorna ao estado desorganizado. Devem ser promovidas iniciativas que envolvam todos os trabalhadores, de forma a remover do local de trabalho o que não é necessário. O impacto dessas iniciativas deve ser avaliado. Para tal, podem ser quantificados o peso dos itens removidos, o espaço libertado ou os contentores que se enchem com material desnecessário, de modo a comprovar os resultados, motivando futuras remoções. Assim, outro passo fundamental é sensibilizar os colaboradores para a importância de manter o espaço de trabalho organizado com apenas o material necessário às suas tarefas diárias.

**Seiton (Arrumação)** – A segunda fase dos 5S é a arrumação, que segue o lema “Um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar”. O que fica no local de trabalho deve ser arrumado de forma a minimizar os movimentos, o esforço e o tempo de procura para encontrar o que se pretende. Os artigos no local de trabalho devem estar bem identificados e as quantidades máximas e mínimas devem ser definidas para os níveis de produtos em curso de fabrico.

**Seiso (Limpeza)** – O objetivo principal desta etapa é a definição do que é necessário limpar. Após retirados os itens desnecessários e organizados os remanescentes, estes devem

ser limpos e assim mantidos. A limpeza do local de trabalho deve ser total, abrangendo máquinas, ferramentas, chão e paredes. Segundo Dennis (2007) para iniciar esse processo a equipa responsável pela implementação dos 5S deve definir:

- O que limpar;
- Como limpar;
- Responsáveis pela limpeza;
- Datas de limpeza.

**Seiketsu (Normalização)** – Esta etapa dos 5S permite manter o novo estado de arrumação e limpeza, normalizando o que foi feito nas etapas anteriores. Desta forma devem ser definidos critérios e cores para a gestão visual, sendo necessário definir e afixar a norma que explique o significado do código utilizado.

**Shitsuke (Disciplina)** – Para que os colaboradores continuem a aplicação dos passos dados nas fases anteriores, é necessária disciplina. Os 5S devem ser encarados como um elemento normal do dia-a-dia. Segundo (Dennis 2007) o envolvimento dos trabalhadores é a chave para manter a disciplina na aplicação dos 5S. Uma das formas de promover os 5S é a definição e divulgação das metas a serem atingidas e dos resultados obtidos ao longo do tempo, utilizando fotografias dos locais, apresentando o “antes” e o “depois”. Devem ser reconhecidos os colaboradores que apresentem excelência no trabalho, visto que o reconhecimento pode ser um grande incentivo.

O sucesso na implementação dos 5S está bastante dependente das auditorias realizadas, que permitem avaliar periodicamente (mensalmente, por exemplo) o estado de cada setor/equipa nas diferentes etapas dos 5S. Esta metodologia permite incluir todos no processo de melhoria continua e fomentar uma iniciativa por parte de todos. Uma ferramenta que facilita a identificação de eventuais anomalias nas auditorias 5S é a gestão visual. 83% da informação recolhida pelo ser humano vem da visão, pelo que com a ajuda da gestão visual é possível:

- Perceber o estado das tarefas;
- Expor dados/indicadores;
- Identificar problemas;
- Facilitar a utilização de equipamentos;
- Esquematizar a organização e relações.

Na Figura 5 estão apresentados alguns exemplos de gestão visual:



**Figura 5** - Exemplos de Gestão Visual aplicados à ordenação e níveis de reaprovisionamento  
(Fonte: Sonae)

### 2.3.2. Kaizen Diário

O *Kaizen* Diário é uma ferramenta útil no âmbito da melhoria contínua, que permite o acompanhamento permanente do processo e constante partilha de informação. Esta ferramenta aplica-se através do quadro de *Kaizen* Diário (Figura 6), que contém informações relativas à equipa, ao processo, e indicadores 5S para a melhoria. Uma das principais vantagens do *Kaizen* Diário é a passagem de informação entre turnos, o que permite ter uma equipa coesa e a monitorização dos processos de trabalho. A uniformização dos métodos de trabalho entre turnos é também bastante importante para manter as características de produto uniformes, e permite manter garantir níveis de qualidade de produção.



**Figura 6** - Quadro *Kaizen* Diário da Unidade Industrial Champcork  
(Fonte: Amorim & Irmãos, S.A.)

No caso particular do grupo Amorim e Irmãos, cada setor das unidades industriais possui um quadro de *Kaizen* Diário, e todos os dias são efetuadas reuniões de 5 minutos de análise e partilha da informação entre turnos. Estas reuniões são lideradas pelo chefe de área, e os dados são apresentados pelos colaboradores do setor. Desta forma torna-se simples a identificação e resolução de um eventual problema, bem como o acompanhamento das tarefas e ações 5S pendentes. As reuniões podem incluir colaboradores de outros setores, com vista a promover a comunicação e para que todos estejam informados relativamente ao que se passa em toda a fábrica.



## 2.4. Ferramentas Estatísticas para Controlo do Processo

---

O projeto a desenvolver no âmbito da dissertação centrava-se na identificação e introdução de melhorias na qualidade dos produtos finais. Para isso, foi necessário levar a cabo um conjunto de análises estatísticas aos dados da produção.

O controlo estatístico de processo (CEP) é uma ferramenta vital no controlo de qualidade, uma vez que permite a aplicação de metodologias científicas, guiadas pelos dados do processo, para analisar as características do produto e inferir sobre o que se pode esperar dos dados futuros. Esta análise permite atuar sobre os fatores que condicionam as características do produto, permitindo redução sistemática da variabilidade dessas mesmas características, contribuindo para o aumento da produtividade, da fiabilidade e da qualidade do produto.

O CEP pode considerar vários fatores. No entanto, só devem ser considerados aqueles que tenham sido identificados como estatisticamente significativos, ou seja, aqueles que constituam causas assinaláveis de variação do valor da característica relevante. Estes fatores podem ser determinados com recurso a um Plano de Experiências. Este plano poderá identificar também causas assinaláveis de variação que não são controláveis, quer por razões técnicas, quer por razões económicas, sendo características do processo responsáveis pela sua normal variação (Pereira 2013).

### 2.4.1. O Teste de Hipóteses

A partir dos dados recolhidos diretamente da produção ou obtidos através do departamento de Controlo da Qualidade, foi feito o seu tratamento, para se tirarem conclusões sobre a influência dos fatores estudados no processo. Para isso foi utilizada a análise por teste de hipóteses, cujo objetivo fundamental é o de verificar se os dados amostrais são, ou não, compatíveis com determinadas populações (ou com valores previamente fixados dos correspondentes parâmetros populacionais). A recolha de informação relativa a este capítulo teve como principal referência bibliográfica o livro “Estatística” (Cabral e Guimarães 1997). Em certos casos particulares foram utilizadas outras referências, devidamente assinaladas. O estudo estatístico de hipóteses envolve quatro fases:

1. Definição da hipótese e do nível de significância;
2. Identificação da estatística de teste e caracterização da sua distribuição;
3. Definição da regra de decisão, com especificação do nível de significância ( $\alpha$ ) do teste, que corresponde à probabilidade de, no caso da hipótese nula ser verdadeira, a estatística de teste pertencer à região de rejeição;
4. Cálculo da estatística de teste e tomada de decisão.

A rejeição ou não-rejeição da hipótese nula é definida pela estatística de teste. No entanto, é sempre importante a determinação do valor de prova (ou valor  $P$ ), que constitui uma medida do grau com que os dados amostrais contradizem a hipótese nula. O valor  $P$  corresponde à probabilidade de a estatística de teste tomar um valor igual ou mais extremo do que o observado (o valor observado poderá ser positivo ou negativo, estando associado a uma distribuição unilateral à direita/esquerda, ou bilateral), com base na veracidade da



hipótese nula, ou seja, quanto menor o valor  $P$ , maior é o grau com que a hipótese nula é contradita.

No contexto deste projeto, os testes mais adequados ao tipo de dados e ensaios que foram realizados são os testes à diferença entre valores esperados de duas populações (amostras independentes), mais especificamente, o teste  $t$  (de *student*). Como testes complementares à realização do teste  $t$ , é importante referir o teste  $F$  à razão entre as variâncias de duas populações com base em amostras independentes e o teste à normalidade de uma população.

#### 2.4.1.1. O teste à diferença entre valores esperados (Teste $t$ )

O teste estatístico  $t$  permite avaliar a diferença entre dois grupos, analisando duas amostras independentes pertencentes a esses grupos e comparando-as. O teste pode ser aplicado mesmo que as amostras sejam pequenas, desde que seja admitido que as populações que originaram as amostras sejam normalmente distribuídas.

No teste  $t$  é analisada a diferença entre os valores esperados das populações, sendo que a hipótese nula é definida da seguinte forma:

$$H_0 = \mu_A - \mu_B = \delta_0$$

Em que  $\mu_A$  e  $\mu_B$  correspondem aos valores esperados das populações A e B e  $\delta_0$  corresponde à diferença entre  $\mu_A$  e  $\mu_B$ .

A hipótese alternativa poderá ser definida de acordo com a informação disponível sobre os dados, pois é possível definir uma hipótese unilateral ( $\mu_A > \mu_B$ , ou vice-versa) ou uma hipótese bilateral ( $\mu_A \neq \mu_B$ ).

Definidas as hipóteses é necessário identificar a estatística de teste. A igualdade entre as variâncias populacionais deve ser estudada utilizando o teste  $F$ . Admitindo que as variâncias populacionais são iguais, a estatística de teste (ET) é dada pela expressão:

$$ET = \frac{(\bar{X}_A - \bar{X}_B) - \delta_0}{S * \sqrt{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}}}$$

com

$$S^2 = \frac{(N_A - 1) * S_A^2 + (N_B - 1) * S_B^2}{N_A + N_B - 2}$$

No caso de  $H_0$  ser verdadeira, a estatística de teste segue uma distribuição  $t_{GL}$  com o número de graus de liberdade (GL) dado pela seguinte expressão:

$$GL = N_A + N_B - 2$$

Se do teste  $F$  se concluir que as variâncias populacionais são diferentes, então as expressões para a estatística de teste e graus de liberdade são dadas pela expressão seguinte.

$$ET = \frac{(\bar{X}_A - \bar{X}_B) - \delta_0}{S * \sqrt{\frac{S_A^2}{N_A} + \frac{S_B^2}{N_B}}}$$

e

$$GL = \frac{(\frac{S_A^2}{N_A} + \frac{S_B^2}{N_B})^2}{\frac{(S_A^2/N_A)^2}{N_A - 1} + \frac{(S_B^2/N_B)^2}{N_B - 1}}$$

A metodologia apresentada tem limitações sempre que se pretende comparar mais do que duas populações independentes. Isto deve-se à influência do número de comparações no erro de tipo *I*. Para o caso de ser realizada apenas uma comparação entre duas amostras independentes, a expressão para um nível de confiança de 95% é dada por  $1 - 0.05^1 = 95\%$ . No entanto, se o teste *t* fosse utilizado para fazer, por exemplo, 3 comparações entre 3 amostras independentes, a probabilidade de incorrer num erro de tipo I seria dada por  $1 - 0.95^3 = 14\%$ . Este valor é bastante significativo pois poderia introduzir erros na interpretação do valor de prova: se, por exemplo, num dos testes fosse determinado um valor de prova de 0.05, este não poderia ser considerado significativo. Assim, é necessário adotar uma metodologia diferente que permita realizar todos os testes sem perder o nível de confiança estabelecido. Essa solução passa pelo recurso à análise de variância (ANOVA).

#### 2.4.1.2. O teste estatístico à razão entre variâncias (Teste *F*)

O teste *F* é um teste à razão entre as variâncias de duas populações Normais independentes A e B. Este teste é necessário, na presente situação, para determinar qual a expressão da estatística de teste a aplicar no teste estatístico *t*. Deste modo as hipóteses têm de ser formuladas como se apresentam em seguida:

$$H_0: \frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} = 1$$

$$H_1: \frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} \neq 1, \frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} < 1 \text{ ou } \frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} > 1$$

A estatística de teste (ET) é dada por:

$$ET = \frac{S_A^2}{S_B^2}$$

Nesta equação  $S_A^2$  e  $S_B^2$  correspondem às variâncias amostrais calculadas com base em amostras aleatórias independentes retiradas das populações A e B, com dimensões  $N_A$  e  $N_B$ , respetivamente. Quando a hipótese nula ( $H_0$ ) é verdadeira (e são normais as populações às quais as amostras pertencem), a estatística de teste tem a seguinte distribuição:

$$ET \sim F_{N_A-1, N_B-1}$$

Se o valor de prova associado à ET calculada for superior ao nível de significância previamente definido então é válido concluir que não existe evidência estatística que permita apoiar a não veracidade da hipótese nula.

#### 2.4.1.3. Testes de qualidade de ajuste

Os testes de qualidade de ajuste são testes não paramétricos que têm como objetivo verificar se uma amostra é proveniente de uma qualquer distribuição. Neste tipo de testes pretende-se não rejeitar a hipótese nula.

#### O teste à normalidade de uma população – Shapiro-Wilk

O teste à normalidade de uma população permite, através de uma amostra, inferir sobre a normalidade da população à qual a amostra pertence. Existem vários testes para este efeito, sendo que um dos mais utilizados é o de Shapiro-Wilk. Este teste, embora tenha a desvantagem de ser negativamente afetado quando existem muitos valores repetidos na amostra (o que não deveria ocorrer teoricamente), fornece uma análise mais potente que o teste de Kolmogorov-Smirnov, na medida em que apresenta uma grande probabilidade de rejeitar a hipótese nula quando esta é de facto falsa. O teste de Shapiro-Wilk é também o mais indicado para amostras até duas mil observações ( $N=2000$ ).

Se  $X$  for a característica a estudar, as hipóteses podem ser estabelecidas da seguinte forma:

$H_0$ :  $X$  segue uma distribuição Normal

$H_1$ :  $X$  não segue uma distribuição Normal

Estabelecidas as hipóteses, o cálculo da estatística de teste é realizado utilizando a seguinte expressão:

$$W_{cal} = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Na expressão representada o denominador corresponde à soma de quadrados (SQ) da amostra. No caso do numerador,  $b$  é dado por:

$$b = \sum_{i=1}^m a_i (x_{N+1-i} - x_i)$$

em que

$m = \frac{N}{2}$ , se amostra for par, ou  $m = \frac{N-1}{2}$  se a amostra for ímpar,

e os coeficientes  $a_i$  representam os coeficientes de Shapiro-Wilk e são obtidos por consulta na Tabela 32 do Anexo A, utilizando o valor de observações na amostra ( $N$ ). Calculado o valor da estatística de teste, é necessário consultar a Tabela 33 do mesmo anexo para obter o valor de prova ( $P$ ). Se o valor de prova obtido for igual ou mais extremo que o nível de significância estabelecido para o teste, então é possível concluir que existe evidência

estatística de que a população à qual a amostra estudada pertence segue uma distribuição Normal (Statistics 2014).

### O teste à normalidade de uma população – Kolmogorov-Smirnov

Embora o teste de Shapiro-Wilk produza uma análise mais poderosa, o teste de Kolmogorov-Smirnov revela-se mais adequado quando se trata de amostras de grande dimensão e com valores repetidos. As hipóteses são definidas de forma idêntica à do teste de Shapiro-Wilk.

Este teste observa a máxima diferença absoluta entre a função distribuição teórica assumida para os dados, neste caso a Normal, e a função distribuição amostral dos dados. Como critério é comparada esta diferença com um valor crítico, para um dado nível de significância pré-estabelecido. Considerando uma amostra aleatória  $X_1, X_2, \dots, X_n$  de uma população com função distribuição teórica contínua  $F_x$  desconhecida. A estatística utilizada para o teste é:

$$D_n = \sup |F(x) - F_n(x)|$$

Esta função corresponde à distância vertical máxima entre os gráficos de  $F(x)$  e  $F_n(x)$  para os possíveis valores de  $x$ . Em  $D_n$  tem-se que:

$F(x)$  representa a função distribuição teórica assumida para os dados;

$F_n(x)$  representa a função distribuição amostral dos dados.

Neste caso, pretende-se testar a hipótese  $H_0: F_X = F$  contra a hipótese alternativa  $H_1: F_X \neq F$ . Para isto, consideram-se  $X(1), X(2), \dots, X(n)$  como as observações aleatórias ordenadas de forma crescente da população com função distribuição contínua  $F_x$ . No caso de análise da normalidade dos dados, assume-se  $F$  como sendo a função distribuição da normal.

A função distribuição teórica assumida para os dados é, então, definida por  $F(x_{(i)}) = P(X \leq x_{(i)})$  e a função distribuição amostral é definida por uma função escada, dada pela fórmula:

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{\{-\infty, x\}}(x_{(i)})$$

onde  $I_A$  é a função indicadora. A função indicadora é definida da seguinte forma:

$$I_A = \begin{cases} 1; & \text{se } x \in A \\ 0; & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

Observe-se que a função distribuição da amostra  $F_n(x)$  corresponde à proporção de valores menores ou iguais a  $x$ . Tal função também pode ser escrita da seguinte forma:

$$F_n(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x < x_{(1)} \\ \frac{k}{n}, & \text{se } x_{(k)} \leq x < x_{(k+1)} \\ 1, & \text{se } x > x_{(n)} \end{cases}$$

A distribuição assintótica da estatística de Kolmogorov-Smirnov é dada por:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P[\sqrt{n}D_n \leq x] = 1 - 2 \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{j-1} e^{-2j^2 x^2}$$

Esta distribuição assintótica é válida quando existe conhecimento completo da distribuição de  $H_0$ . No entanto, na prática,  $H_0$  especifica uma família de distribuições de probabilidade. Como a função distribuição amostral  $F_n$  é descontínua e a função de distribuição hipotética é contínua, consideram-se também duas outras estatísticas:

$$D^- = \sup |F(x_{(i)}) - F_n(x_{(i-1)})|$$

$$D^+ = \sup |F(x_{(i)}) - F_n(x_{(i)})|$$

Estas estatísticas medem as distâncias (verticais) entre os gráficos das duas funções, teórica e empírica, nos pontos  $x_{(i-1)}$  e  $x_{(i)}$ . A partir delas, utiliza-se como estatística de teste:

$$D_n = \max(D^+, D^-)$$

Se  $D_n$  é maior que o valor crítico, é rejeitada a hipótese de normalidade dos dados com  $(1 - \alpha) * 100\%$  de confiança. Caso contrário, não se rejeita a hipótese de normalidade (Portal Action 2011).

#### 2.4.2. Análise de Variância (ANOVA)

A análise de variância é uma técnica estatística que tem como objetivo estudar o efeito de diferentes fatores numa variável de resposta que se considere de interesse. Os fatores considerados podem ser de origem qualitativa ou quantitativa, mas a variável de resposta tem de ser quantitativa. A principal aplicação da ANOVA (*Analysis of Variance*) é a comparação de médias amostrais provenientes de grupos diferentes.

Para descrever os problemas de comparação de grupos, adota-se um modelo do tipo:

$$X_{ij} = \mu_i + E_{ij} = \mu + \alpha_i + E_{ij}$$

Onde:

$i$  – índice que designa o grupo de observações para os quais o fator se mantém inalterado ( $i=1,2, \dots, I$ );

$j$  – índice que denota uma observação dentro de cada grupo ( $j=1,2, \dots, n$ );

$X_{ij}$  –  $j$ -ésima observação do  $i$ -ésimo grupo;

$\mu_i$  – valor esperado do  $i$ -ésimo grupo;

$\mu$  – parâmetro global fixo;

$\alpha_i$  – parâmetro que corresponde ao efeito do  $i$ -ésimo grupo;

$E_{ij}$  – erro associado à  $j$ -ésima observação do  $i$ -ésimo grupo;

Este modelo designa-se por modelo ANOVA de um fator. Neste modelo admite-se que os erros  $E_{ij}$  satisfazem as seguintes condições:

1. Têm valor esperado nulo e variância constante,  $\sigma^2$ ,
2. São mutuamente independentes e

### 3. São Normalmente distribuídos

Estes são os requisitos da ANOVA, que podem ser verificados através da aplicação de um teste à normalidade dos erros (residuais) e de um teste à homogeneidade das variâncias. Da aplicação da ANOVA resulta uma tabela (Tabela 1).

**Tabela 1** - Tabela ANOVA

Fonte de Variação	SQ	GL	DQM	Teste F
Entre Grupos	VEG	$i - 1$	DQMEG	DQMEG/DQMDG
Dentro dos Grupos	VDG	$n-i$	DQMDG	
Total	VT	$n-1$		

Os dados apresentados na Tabela 1 correspondem a:

- VT = VEG + VDG (mede a variação geral de todas as observações), sendo que VT é a soma dos quadrados totais, decomposta em:
  - VEG - Soma dos quadrados dos grupos associada exclusivamente a um efeito dos grupos (Variação Entre Grupos);
  - VDG - Soma dos quadrados dos resíduos, devidos exclusivamente ao erro aleatório, medida dentro dos grupos (Variação Dentro dos Grupos);
- DQMEG = Desvio Quadrático Médio Entre Grupos;
- DQMDG = Desvio Quadrático Médio Dentro dos Grupos;
- VEG e DQMEG: medem a variação total entre as médias;
- VDG e DQMDG: medem a variação das observações de cada grupo;
- $i = N^\circ$  de grupos em estudo;
- $n = N^\circ$  de observações da amostra.

A aplicação da ANOVA implica estimar a variância entre os grupos (VEG) e a variância dentro dos grupos (VDG), com o objetivo de calcular a estatística do teste, definida da seguinte forma:

$$ET = \frac{DQMEG}{DQMDG} \sim F_{i-1, n-i}$$

A hipótese nula será sempre rejeitada quando o valor de  $F$  calculado for superior ao valor tabelado para o nível de significância estabelecido, devendo sempre ser apresentado o valor de prova  $P$ . Se o teste  $F$  indicar diferenças significativas entre as médias, e os níveis forem fixos, poderá haver interesse em identificar quais as médias que diferem entre si, pois a ANOVA não fornece essa informação. Para determinar entre que grupos as médias diferem, podem ser aplicadas diversas técnicas, como, por exemplo, o método de Scheffé. Este método utiliza os parâmetros determinados pela análise de variância e calcula os intervalos de confiança para os valores esperados entre cada par de grupos, ou seja, se a ANOVA analisou 4 grupos, isto equivale a 6 testes dois a dois, de forma a analisar todas as diferenças.

Os intervalos de confiança múltiplos são obtidos a partir da seguinte expressão:

$$(\bar{x}_i - \bar{x}_j) \pm \sqrt{(k-1)F_{1-\alpha}} \sqrt{\text{DQMDG} \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

em que  $F_{1-\alpha}$  é o quantil de probabilidade  $(1-\alpha)$  da distribuição  $F_{N-k}^{k-1}$ , correspondendo ao valor de  $F$  determinado pela ANOVA. O valor dos desvios quadráticos médios dentro dos grupos é também obtido através da análise de variância (Lucas s.d.). Os grupos significativamente diferentes são aqueles nos quais o valor zero não está incluído no intervalo calculado. Pode ocorrer a situação em que, apesar de na técnica ANOVA se ter rejeitado a hipótese nula, o valor zero faz parte de todos os intervalos obtidos pelo método de Scheffé. Nesta situação, que ocorre raramente, devem considerar-se como significativamente diferentes os valores esperados entre os grupos em que o valor zero esteja mais próximo de ser excluído

Para validar os resultados da ANOVA é necessário verificar os seus requisitos. Em primeiro lugar deve ser realizado o teste à normalidade dos erros. Para analisar a homogeneidade das variâncias o teste mais utilizado é o Teste de Bartlett, usado para testar se  $k$  amostras foram retiradas de populações com variâncias iguais. Desta forma, a hipótese nula é definida admitindo que todas as variâncias são iguais, sendo a hipótese alternativa definida admitindo que pelo menos duas das variâncias consideradas são diferentes. Considerando  $k$  amostras de dimensão  $n_i$  e variância amostral  $S_i^2$ , a estatística do teste de Bartlett é dada por:

$$X^2 = \frac{(N-k) \ln(S_p^2) - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln(S_i^2)}{1 + \frac{1}{3(k-1)} \left( \sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{n_i - 1} \right) - \frac{1}{N-k} \right)}$$

em que:

$$N = \sum_{i=1}^k n_i$$

$$S_p^2 = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2$$

A estatística de teste segue aproximadamente uma distribuição Qui-Quadrado  $\chi_{k-1}^2$ . A hipótese nula é rejeitada se  $X^2 > \chi_{k-1}^2(\alpha)$ .

### 2.4.3. Capacidade do processo produtivo – Cp e Cpk

O conceito de capacidade de processo pode estar associado a uma máquina, ou a um conjunto de máquinas, tendo sempre em conta o papel dos operadores, devido à variabilidade que estes introduzem no processo. Para além disso, deverão ser considerados outros fatores externos que possam introduzir variabilidade na produção (por exemplo, condições ambiente). A capacidade do processo é representada por dois indicadores:

- ✓ **Capacidade do Processo** – Identificada por Cp, representa a capacidade inerente ao processo, relacionando as suas especificações com a sua variabilidade inerente;

- ✓ **Índice da Capacidade do Processo** – Identificado por  $C_{pk}$ , representa a proximidade da distribuição do limite mais próximo de especificação. (Pereira 2013)

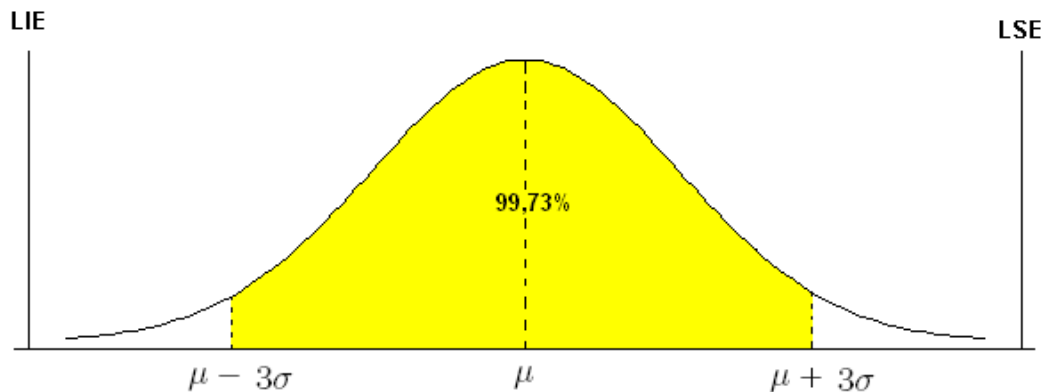
$$C_p = \frac{\text{Variabilidade Permitida no Processo}}{\text{Variabilidade Inerente ao Processo}}$$

ou seja,

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

em que LSE é o Limite Superior de Especificação e LIE o Limite Inferior de Especificação.  $\hat{\sigma}$  representa o desvio-padrão da amostra retirada para análise.

O índice  $C_p$ , quando os dados seguem uma distribuição normal, é representado pelo Gráfico 1.



**Gráfico 1** - Distribuição Normal das observações e limites de especificação (Fonte: Correia, Marques e Benatia)

No Gráfico 1 a zona apresentada a amarelo representa a zona onde o processo se encontra, estando também representados os limites de especificação.

Um processo centrado, com um  $C_p = 1$  poderá produzir 0,27% de valores fora de especificação. Na aplicação do índice  $C_p$  deve também ter-se em conta que muitas vezes os processos são avaliados por análises de curta duração e realizadas sob condições especiais: máquinas novas, matéria-prima especialmente preparada, entre outros. Estas condições fazem com que as operações de qualificação do processo e as de produção corrente sejam significativamente diferentes.

Por esse motivo, a maioria das empresas adota o valor  $C_p = 1,67$  (ou  $C_p = 1,33$ ) para análises de curto prazo, segundo recomendação de Juran e Gryna (1980). Este valor garante que, quando as causas adicionais de variabilidade atuarem no processo, o  $C_p$  real seja superior a 1. Baseados no mesmo tipo de pensamento, outros autores sugerem um  $C_p = 1,5$  numa fase de qualificação de processo.



Para avaliar mais eficientemente a capacidade do processo foi introduzido no Japão o índice  $Cp_k$ , que tem em consideração não só a variabilidade do processo como também a sua localização relativamente aos limites de especificação. No caso de especificações bilaterais, o índice  $Cp_k$  permite a avaliação da capacidade do processo na "pior situação possível". Neste sentido, a utilização do  $Cp_k$  determina a estratégia "mais conservadora". Por conseguinte, um processo com  $Cp_k$  alto oferece garantias de um comportamento satisfatório, enquanto a estabilidade seja mantida. O índice  $Cp_k$  é definido da seguinte forma:

$$Cp_k = \text{Min} \left( \frac{LSE - \mu}{3\hat{\sigma}}; \frac{\mu - LIE}{3\hat{\sigma}} \right)$$

Esta expressão é válida para especificações bilaterais. A relação entre  $Cp$  e  $Cp_k$  é definida por:

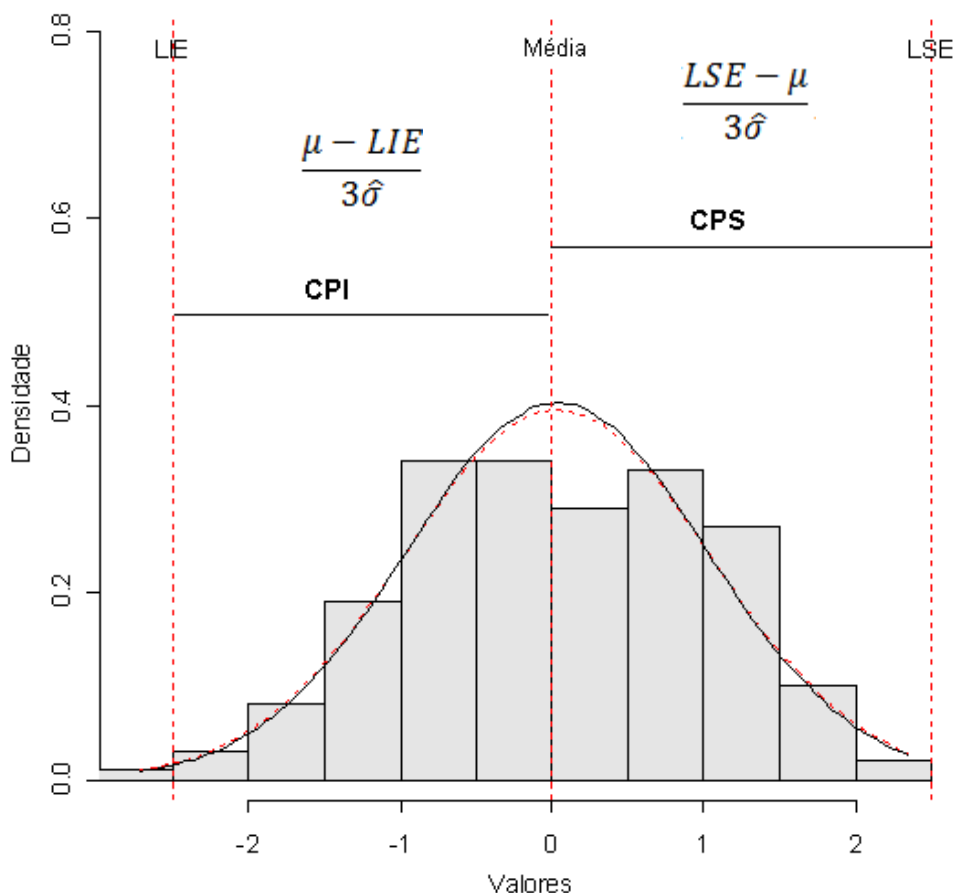
$$Cp_k = Cp(1 - k)$$

em que  $k$  é o fator que representa a centragem do processo:

$$k = \frac{|m - \mu|}{m}$$

sendo  $m = (LSE + LIE)/2$  o ponto central da especificação.

No Gráfico 2 está representado um exemplo de uma distribuição de especificação de um processo, onde se encontram indicados os intervalos correspondentes ao valor de  $Cp_k$  inferior e superior (Correia, Marques e Benatia 2002).



**Gráfico 2** - Histograma e Curva de Densidade com limites de especificação (Fonte: Correia, Marques e Benatia 2002)

#### 2.4.4. Modelos de Regressão Linear Múltipla

A análise de regressão é uma técnica estatística que procura investigar e modelar a relação entre variáveis, sendo uma das mais utilizadas na análise de dados. Um dos objetivos da análise de regressão é estimar os parâmetros desconhecidos do modelo. O que se pretende é avaliar a relação de uma variável de interesse  $Y$  (variável dependente ou variável de resposta) em relação a  $k$  variáveis  $X_j$  (variáveis independentes), com  $j = 1, 2 \dots k$ . Essa relação pode ser dada pelo modelo:

$$Y_n = \alpha + \beta_1 * (X_{1n} - \bar{X}_1) + \dots + \beta_j * (X_{jn} - \bar{X}_j) + E_n$$

em que:

- $n$  representa o número de observações das variáveis independentes;
- $(X_{1n}, \dots, X_{jn}, Y_n)$  representam a  $n$ -ésima observação das variáveis  $X_1, \dots, X_j$  e  $Y$ ;
- $\bar{X}_j$  corresponde à média aritmética das observações da variável  $X_j$ ;
- $\alpha, \beta_1, \dots, \beta_j$  correspondem a parâmetros fixos desconhecidos, a estimar, da relação entre  $X_1, \dots, X_j$  e  $Y$ ;
- $E_n$  corresponde ao erro aleatório associado ao valor observado  $Y_n$ .

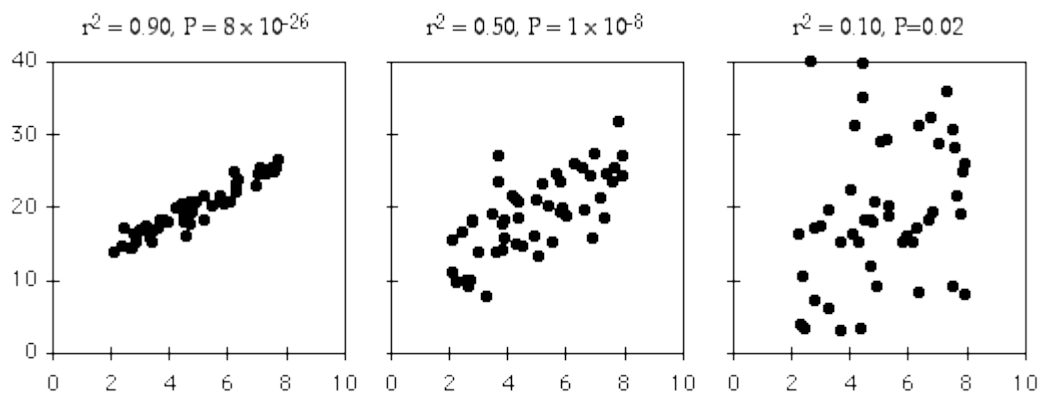
Assume-se que os erros são mutuamente independentes e seguem distribuição normal com valor esperado nulo e variância constante. O modelo é denominado regressão linear múltipla, pois envolve mais de um coeficiente de regressão. O adjetivo “linear” indica que o modelo é linear em relação aos parâmetros  $\beta$  (Coelho-Barros, et al. 2008).

Os parâmetros do modelo  $(\alpha, \beta_1, \dots, \beta_j)$  podem ser estimados a partir do conjunto de observações recorrendo ao Método dos Mínimos Quadrados. Sendo estes parâmetros estimados, é necessário também determinar os seus intervalos de confiança. Depois de obtidos estes valores é possível estimar, dentro de um intervalo de confiança, a variável de resposta. Para facilitar a compreensão do procedimento de estimação dos parâmetros do modelo, é apresentado um exemplo prático no Anexo B (Cabral e Guimarães 1997).

A aplicação da ANOVA permite determinar se as variáveis independentes produzem um impacto estatisticamente significativo na variável de resposta. No entanto, a regressão leva os resultados da ANOVA mais longe, determinando de que forma é que os fatores em estudo influenciam a variável de resposta. Os modelos de regressão aplicam a análise de variância e os conceitos de intervalo de confiança para estimar, com um nível de confiança pré-definido, a variável de resposta. No Anexo C é apresentada a tabela ANOVA para um modelo de regressão linear múltipla. A regressão linear múltipla permite também a redução de um grande número de variáveis para poucas com o mínimo de perda de informação, permitindo a deteção dos principais padrões de similaridade, associação e correlação entre as variáveis (Sassi, et al. 2011).

Na análise do modelo obtido é importante verificar se este é realmente significativo, ou seja, se as variáveis independentes influenciam significativamente a variável de resposta. Para isso, é necessário comparar o valor da estatística de teste observada com o valor crítico para o nível de significância considerado, tal como é feito na aplicação de testes de hipóteses. No entanto, este valor não é o único que deve ser analisado. O coeficiente de determinação  $R^2$  é outro indicador importante, e que tem impacto no modelo pois influencia o intervalo de confiança para a estimativa da variável de resposta. Este coeficiente corresponde à razão entre a variação explicada pelo modelo de regressão e a variação total observada na análise

às amostras. Um valor de  $R^2$  elevado significa que o modelo se ajusta adequadamente aos dados existentes. Um valor baixo de  $R^2$  poderá indicar a existência de outros fatores não considerados no modelo que poderão estar a influenciar a variável de resposta. Nesse caso é importante tentar determinar estes fatores e incluí-los no modelo, uma vez que estes estão a introduzir no modelo uma variação não explicada. No entanto, é necessário cuidado na avaliação deste indicador, pois se as amostras forem muito grandes, um grande número de pequenos desvios entre as observações e o modelo de regressão podem definir um coeficiente de determinação baixo, mesmo que o modelo seja estatisticamente significativo. No Gráfico 3 são apresentados três casos em que é possível observar três coeficientes de determinação diferentes. Analisando os gráficos, pode concluir-se que o  $R^2$  é um indicador da dispersão dos dados.



**Gráfico 3** - Exemplos de observações com coeficientes de determinação diferentes (Fonte: <http://udel.edu/~mcdonald/statregression.html>)

### 3. O Problema a Estudar

---

A Champcork produz rolhas técnicas, essencialmente para vinhos efervescentes. Nas Figuras 7 e 8 estão apresentadas duas rolhas de champanhe; uma saída da linha de produção, e outra que já foi inserida na garrafa. As rolhas são constituídas por um corpo de granulado de cortiça com um ou dois discos colados no topo que ficará em contacto com a bebida.



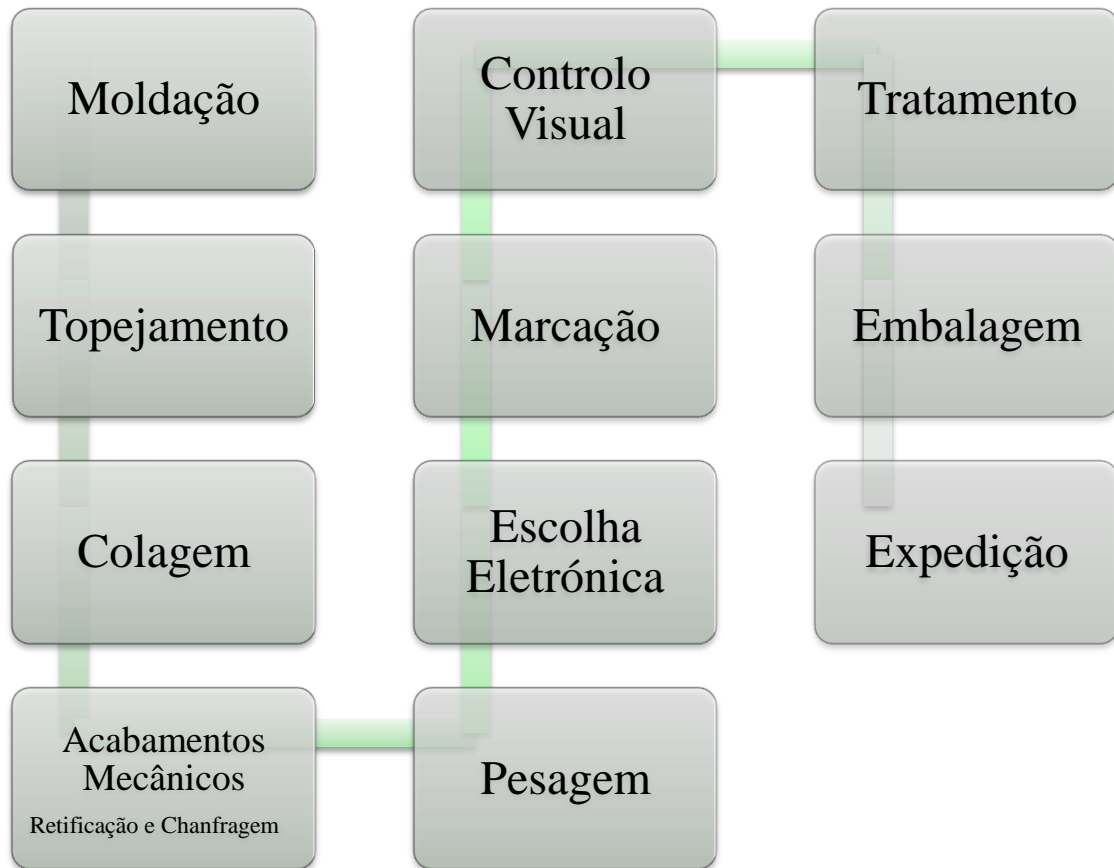
**Figura 7** - Rolha antes (esquerda) e após (direita) engarrafamento



**Figura 8** - Rolha antes (esquerda) e após (direita) engarrafamento

### 3.1. Champcork – O Processo Industrial

A unidade industrial Champcork possui uma elevada capacidade produtiva. Para ser possível desenvolver esta dissertação foi necessário compreender o processo de produção das rolhas de champanhe. Na Figura 9 é apresentado um esquema de todas as fases desde a entrada do granulado até à expedição do produto acabado.



**Figura 9** - Esquema representativo do processo produtivo

#### Moldação

Nesta primeira fase, o granulado é introduzido na moldadora (visível no lado direito da Figura 10) e cozido em conjunto com uma quantidade pré-definida de cola e dois tipos de óleos, para produzir o corpo da rolha. Os produtos químicos aplicados nesta fase são adequados para utilização com produtos alimentares. Esta fase do processo é a mais importante, uma vez que uma moldação incorreta irá certamente provocar defeitos potencialmente graves em termos de produto final. É também a parte mais complexa do processo, constituída pelos seguintes passos:

1. Transferência do granulado dos silos para um *buffer*, onde este irá aguardar a sua distribuição pelos Rotex (Sistemas de remoção de lixo do granulado por vibração);
2. Nos Rotex é retirado o pó e algum lixo existente no granulado para que este entre limpo nas moldadoras;
3. De seguida o granulado é transferido pneumáticamente para as moegas (reservatórios de granulado, em forma de pirâmide invertida) das moldadoras;

4. Aqui é introduzido o granulado numa quantidade pré-determinada e é misturado com a cola e com os dois óleos;
5. Após a mistura estar preparada é transferida automaticamente para a moldadora;
6. Na moldadora a mistura é transferida para tabuleiros através de pistões que prensam o granulado nos moldes;
7. Após a introdução do granulado os tabuleiros são fechados e transportados por corrente para o interior da estufa onde as rolhas cozem durante uma hora;
8. Acabando o período de cozimento as rolhas são extraídas automaticamente e transportadas para o setor seguinte, onde irão estabilizar antes de ser topejadas. Este período de estabilização é importante pois à saída das moldadoras os corpos encontram-se quentes e no seu arrefecimento poderão sofrer pequenas variações nas suas dimensões. Se as rolhas fossem topejadas imediatamente poderiam não ficar com as dimensões corretas no final dos acabamentos mecânicos.



**Figura 10** - Setor da Moldação

## **Topejamento**

Na fase seguinte é feito o topejamento das rolhas, ou seja, os seus topos são retificados para obter duas superfícies lisas e uniformes. Esta fase é necessária pois os corpos provenientes da moldação apresentam superfícies irregulares.



## Colagem

Nesta fase do processo são colados dois discos de cortiça natural num dos topos da rolha, um disco “lado” e um disco “espelho”, que ficará em contacto com o conteúdo da garrafa, pelo que é de mais elevada qualidade (Figura 11). Nesta fase poderá ser colado apenas um disco se se tratar de rolhas de um só disco, que correspondem a uma gama inferior.



Figura 11 - Máquina de colagem de discos

## Acabamentos Mecânicos

A fase seguinte no processo produtivo é a retificação e chanfragem das rolhas (Figura 12), para que estas fiquem com a dimensão adequada de diâmetro e altura. A cada dimensão diferente que a rolha pode ter dá-se o nome de calibre da rolha. No caso de uma rolha com 48mm de altura e 30.5mm de diâmetro o calibre é 48x30.5.



Figura 12 - Setor de acabamentos mecânicos

## Pesagem

Após a conclusão dos acabamentos mecânicos é feito um controlo da massa das rolhas numa balança (Figura 13), que deve estar dentro de um intervalo pré-estabelecido para o calibre ao qual pertencem.



**Figura 13** - Balança no setor de pesagem

## Escolha Eletrónica

A fase de escolha eletrónica consiste na passagem das rolhas por uma máquina (Figura 14) que, através de diversas câmaras, posicionadas adequadamente, analisa a superfície lateral e os topos das rolhas, procurando defeitos no corpo e nos discos, encaminhando-as para a categoria de classe correspondente. Existem diferentes classes de rolhas, desde as AA até às F, em que as AA apresentam a melhor qualidade e as F a qualidade inferior. Existem diversos tipos de defeitos e a divisão por classes é feita automaticamente conforme os tipos e quantidade de defeitos.



**Figura 14** - Equipamento de escolha eletrónica



Após a primeira escolha certas encomendas poderão também ser submetidas a uma segunda escolha. Isto sucede normalmente quando as rolhas não são marcadas, sendo transferidas diretamente para a embalagem. Como neste caso não passam pela escolha visual feita na marcação, são submetidas a uma segunda escolha ótica logo a seguir à primeira escolha.

### **Marcação e Controlo Visual**

Na fase da marcação é introduzida na rolha a marca do cliente, por indução. As rolhas são colocadas em tapetes onde o seu movimento rotativo as obriga a entrar em contacto com a marca do cliente que se encontra a alta temperatura, ficando esta impressa no corpo e topos das mesmas. Nesta fase poderá também ser aplicada uma banda de parafina, que irá auxiliar o correto posicionamento da rolha na garrafa, pois introduz uma resistência à inserção.

No mesmo posto é feita uma inspeção visual às rolhas (Figura 15), para procura de eventuais defeitos na marcação e acabamentos mecânicos. Este controlo é efetuado pelas colaboradoras do setor.



**Figura 15** - Posto de marcação e controlo visual

### **Tratamento Superficial**

Esta fase do processo produtivo foi um dos principais objetos de estudo e de esforço de implementação de melhorias. As rolhas recebem aqui um tratamento superficial em que é adicionado um elastómero com vista a fornecer mais elasticidade às rolhas, facilitando a sua compressão e inserção nas garrafas nas linhas de engarrafamento. O elastómero é do tipo RTV. O tratamento consiste na introdução das rolhas num tambor rotativo (Figura 16) onde é injetado o elastómero numa quantidade definida previamente. O movimento rotativo do tambor permite a distribuição uniforme do tratamento superficial por todas as rolhas. Nesta fase do processo existe uma elevada influência das condições ambiente, pelo que estas são controladas dentro dos possíveis através de sistemas de ar condicionado e humidificação do ar. Os efeitos destas condições foram um dos aspetos estudados de forma aprofundada no projeto.

Após a aplicação do tratamento é feito o controlo do processo, testando uma amostra quanto às forças de inserção e forças de compressão. A força de inserção representa o esforço necessário para introduzir/retirar a rolha da garrafa. A força de compressão representa o esforço realizado na compressão radial da rolha.



**Figura 16** - Setor de tratamento superficial

## **Embalagem**

Após um período de estabilização pós-tratamento, as rolhas são embaladas em sacos e colocadas em caixas de cartão. O embalamento é personalizável, pelo que o cliente pode decidir o tipo de caixa que quer, bem como o tipo de saco onde serão colocadas as rolhas, e a quantidade a introduzir em cada saco. Aquando da embalagem é introduzido gás no saco (Dióxido de Enxofre) com o objetivo de preservar as rolhas e mantê-las higienizadas.

## **Expedição**

A Champcork mantém um armazém com o seu *stock* de rolhas. A expedição é feita através de camiões que efetuam a recolha das rolhas diretamente no armazém, sendo depois expedidas para clientes em todo o mundo.

### 3.2. Apresentação Detalhada dos Problemas

---

A proposta de dissertação surgiu no âmbito do projeto *CorkMais*. Este projeto é um projeto transversal a todo o grupo Amorim & Irmãos, S.A., e foi criado em 2012 em conjunto com o Instituto *Kaizen* com o intuito de aumentar a eficiência em todos os setores do grupo Amorim e Irmãos, S.A., através da utilização de ferramentas de melhoria contínua. O nome do projeto, *CorkMais*, significa o desenvolvimento sustentado do grupo (*Cork-Melhorar Amorim e Irmãos Sustentadamente*), e implicou a alteração de filosofias de trabalho, procurando unir todos os funcionários do grupo e uniformizar os seus métodos de trabalho. As principais ferramentas utilizadas no *CorkMais* são: 5S e Gestão Visual, o trabalho normalizado e o *Kaizen* Diário. Foram formadas equipas em todas as unidades industriais, com facilitadores e líderes de área, que por sua vez ficaram responsáveis pela formação e gestão das suas equipas *CorkMais*, constituídas pelos colaboradores da respetiva área/setor.

O projeto *CorkMais* foi implementado com o objetivo de aumentar a produtividade. A exigência dos clientes da Champcork tem vindo a aumentar nos últimos anos, e os intervalos admissíveis para as especificações das rolhas de champanhe são cada vez mais estreitos, pelo que o aumento na produtividade não pode ser feito à custa da diminuição da qualidade final do produto. Uma vez que as exigências do mercado aumentaram, o rigor no controlo do processo produtivo deve igualmente aumentar para que a empresa possa manter a competitividade. Com este objetivo, foi definida a primeira parte do projeto de dissertação, que passou pela análise das características do produto após tratamento superficial em termos de forças de inserção e forças de compressão. Esta parte do trabalho consistiu em avaliar os limites de controlo definidos no processo para ambas as forças. No início do projeto os limites de controlo estavam definidos de acordo com o calibre das rolhas, mas não tinham em consideração outros fatores, como, por exemplo, as condições ambientais. Isso traduzia-se em intervalos de controlo muito alargados, tornando difícil a deteção rápida de um eventual problema. Desta forma, parte do projeto consistiu na identificação de fatores (uns controláveis, outros não) que poderiam influenciar os valores das forças em estudo, de forma a se conseguir mantê-los dentro dos limites de especificação. Foi necessário realizar diversos ensaios, analisar estatisticamente os dados obtidos na produção, bem como os dados de ensaios já realizados pela empresa. A partir daqui foi proposta a definição de novos intervalos de controlo mais estreitos, de acordo com a influência dos diversos fatores estudados.

A segunda parte do projeto de dissertação incidiu sobre o setor da moldação, um setor crítico, na medida em que um pequeno problema numa moldação poderá ter repercussões graves no cliente, o que trará custos à empresa e poderá significar a perda do cliente. A moldação utiliza a matéria-prima fornecida por outra unidade industrial do grupo Amorim e Irmãos, S.A.. Esta matéria-prima é o granulado de cortiça a partir do qual será produzido o corpo da rolha de champanhe. Sendo a cortiça um produto natural, está bastante exposta às condições de crescimento da árvore e às condições ambiente. Tudo isto faz com que seja um recurso com propriedades bastante heterogéneas. Esta heterogeneidade manifesta-se de várias formas no produto final. Por isso foi proposta uma análise diária detalhada do tipo de granulado que entra na unidade para o setor da moldação. Pretendia-se estudar a possibilidade de existir uma relação entre a mistura de granulado fornecido e as características dos corpos das rolhas à saída da moldação, nomeadamente a sua massa. Foi proposto o acompanhamento diário das matérias-primas fornecidas, o controlo de qualidade (em termos de capacidade do

processo) das massas dos corpos e a eventual relação granulada/massa dos corpos, com vista a tentar reduzir a variabilidade existente no processo. Foi sugerido que o acompanhamento fosse feito presenciando o *Kaizen* Diário do setor, analisando estatisticamente os dados e indicadores recolhidos nessa reunião e eventualmente sugerindo melhorias. A empresa possuía todos os dados mas não tinha até à altura implementado um procedimento para a sua análise, pelo que se revelou importante a realização deste trabalho.

### 3.3. Controlo de qualidade no tratamento superficial das rolhas

---

Neste setor pretendeu-se determinar quais os principais fatores que influenciam as forças de inserção. Para isso foi necessário compreender em que consiste a força de inserção e também a de compressão, uma vez que o ensaio realizado mede ambas:

- **Força de Inserção** – Força que é necessário aplicar para introduzir a rolha na garrafa. Se o tratamento superficial for aplicado em quantidade insuficiente esta força será maior, pois existirá mais atrito entre a rolha e a superfície interior do gargalo da garrafa. Havendo mais atrito será mais difícil introduzir a rolha, e poderá ser impossível retirá-la manualmente. Se por sua vez o tratamento for aplicado em demasia, a rolha entra muito facilmente na garrafa, podendo ficar demasiado inserida. Como as rolhas de champanhe são removidas manualmente, se ficarem inseridas em demasia poderá ser muito difícil removê-las, e esteticamente a garrafa fica diferente das restantes.
- **Força de Compressão** – Força radial que é necessário aplicar para comprimir a rolha para metade do seu diâmetro. O gargalo de uma garrafa de champanhe tem, normalmente, diâmetro de 15mm. Sendo que o diâmetro de uma rolha tratada é cerca de 30 milímetros, é necessário que esta tenha elasticidade suficiente para ser comprimida para metade do seu diâmetro sem demasiado esforço. Se a rolha for demasiado elástica, poderá causar problemas de vedação da garrafa, devido a uma baixa força de compressão. Se a rolha for pouco elástica poderá ser impossível de remover manualmente.

A fase seguinte do estudo passou pela definição dos fatores a estudar e que foram os seguintes:

- Quantidade de rolhas a tratar num só tambor;
- Massa das rolhas;
- Percentagem de cola de moldação;
- Movimento do braço de introdução do tratamento superficial;
- Tempo de estabilização após tratamento.

Estes fatores foram selecionados para o estudo por serem controláveis, e por haver indícios que sugeriam que estes poderiam ter influência na força de inserção. Estudos anteriores realizados pela empresa revelaram que a temperatura ambiente, humidade relativa e a sua variação também têm uma grande influência na aplicação do tratamento superficial, o que resulta em valores de forças de inserção muito variáveis, podendo até sair dos limites de especificação, situação que obriga à segregação das rolhas. Por este motivo foi instalado um sistema de ar condicionado e humidificação do ar, para manter a temperatura no setor abaixo

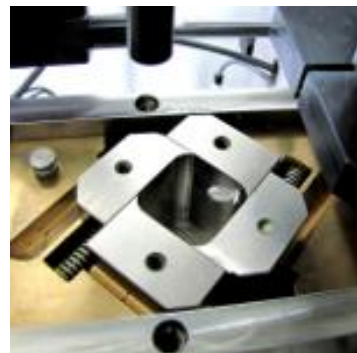
dos 26°C e humidade relativa acima dos 40%. No entanto, nos meses mais quentes de verão o ar condicionado revela-se por vezes insuficiente para manter a temperatura abaixo do limite, pelo que nessas alturas é necessário interromper a produção neste setor. Esta quebra na produtividade do setor traz custos à empresa, mas são toleráveis quando comparados com os custos de uma eventual reclamação/devolução de um cliente devido a rolhas deficientes.

Este estudo foi realizado utilizando o equipamento de ensaios CITCork (Figura 17) no setor de aplicação do tratamento superficial. Este equipamento destina-se à realização de ensaios de inserção e compressão, que simulam as condições reais de rolhamento. Ambos os ensaios são realizados de uma só vez, ou seja, a rolha é comprimida radialmente pelas maxilas representadas na Figura 18, sendo depois empurrada por um pistão, que a remove. Os valores medidos para as forças são apresentados no ecrã de comando, numericamente e em forma de gráfico. Uma vez que o equipamento permite a introdução dos limites de especificação, se existirem valores não conformes é apresentado um aviso, tendo o operador que segregar o contentor de onde as rolhas foram retiradas. Após segregação, o laboratório de controlo da qualidade é responsável por realizar uma análise mais detalhada das rolhas daquele contentor.



**Figura 18-** Equipamento de medição de forças de inserção e compressão CITCork (Fonte:

<http://www.egitron.pt/client/skins/portuguese/produtos.asp?categoria=186>)



**Figura 17 -** Maxilas de compressão e pistão de inserção (Fonte:

<http://www.egitron.pt/client/skins/portuguese/produtos.asp?categoria=186>)



### 3.3.1. Ensaios Realizados

#### 3.3.1.1. Procedimento Geral

A realização dos ensaios seguiu um procedimento geral, descrito em seguida. No entanto, cada ensaio apresentou as suas particularidades, sendo estas descritas na apresentação de cada ensaio em particular.

Para a realização do tratamento e do consequente ensaio de compressão/inserção, foi necessário obter as rolhas já retificadas no calibre pré-definido. Depois de ter as rolhas, o procedimento para os ensaios consistiu no:

1. **Tratamento das rolhas no tambor** - O tratamento demora cerca de 30 minutos e dependendo do tambor podem-se tratar 9000 ou 18000 rolhas de cada vez;
2. **Seleção de amostra** – Após o tratamento é retirada uma amostra de cerca de 100 rolhas;
3. **Controlo da massa da amostra** – No caso de um ensaio com massa controlada: das 100 rolhas retiradas são seleccionadas 20 com valores de massa dentro do intervalo especificado no ensaio. No caso de não haver controlo de massa são seleccionadas 20 rolhas ao acaso para a amostra;
4. **Numeração das rolhas** – As medições são realizadas em dois equipamentos diferentes. A numeração permite corresponder as rolhas aos valores individuais fornecidos por cada equipamento. A numeração é feita de 1 a 20, de acordo com a amostra;
5. **Medição da Massa, Massa Volúmica Aparente (MVA), Humidade do Aglomerado e do Disco** – Nesta primeira medição as rolhas são introduzidas pela ordem de numeração no equipamento, que transmite automaticamente os dados para o relatório correspondente ao ensaio;
6. **Realização do ensaio de inserção/compressão** – Esta é a parte final do ensaio, em que as rolhas são introduzidas no CITCork pela ordem de numeração e é medida a força de compressão e inserção, sendo os valores guardados no mesmo relatório onde se encontram as restantes medições. Este ensaio é realizado em último lugar pois é um ensaio destrutivo;
7. **Repetição do ensaio passado uma semana ( $T_7$ ) e passados trinta dias ( $T_{30}$ )** – Todos os ensaios, salvo indicação em contrário, foram realizados no tempo zero ( $T_0$ ), ou seja, foram realizados imediatamente após o tratamento. Como muitas vezes as encomendas depois de tratadas e embaladas aguardam em armazém a expedição, por vezes até um mês, revelou-se pertinente repetir os ensaios para avaliar a evolução dos parâmetros em estudo, pois estes podem ser influenciados pelo tempo e condições de armazenamento.
8. **Tratamento e análise dos dados** – Foram aplicados testes estatísticos de hipóteses aos dados obtidos nos ensaios, com vista a analisar os efeitos dos fatores em estudo. Em todos os testes realizados o **nível de significância ( $\alpha$ )** adotado foi 5%.

### 3.3.1.2. Estudo da influência da massa das rolhas nas forças de inserção

#### Objetivo

Com este ensaio pretendeu-se estudar a influência da massa das rolhas acabadas no valor das forças de inserção. A massa é um parâmetro controlado no processo. Procurou-se analisar se a variação da massa poderia causar valores de inserção fora dos intervalos de especificação.

#### Procedimento

Para este ensaio foi seguido o procedimento geral descrito na secção 3.3.1.1.. Foi realizado apenas um tratamento, e do mesmo tambor foram retiradas 20 rolhas por cada intervalo de massa definido: [8.5 a 8.9[ [g]; [8.9 a 9.2[ [g]; [9.2 a 9.5] [g].

A ANOVA foi aplicada considerando a força de inserção como variável de resposta, tendo as hipóteses sido definidas da seguinte forma:

$$H_0: \mu_{m \in [8.5; 8.9[ [g]} = \mu_{m \in [8.9; 9.2[ [g]} = \mu_{m \in [9.2; 9.6] [g]}$$

$$H_1: \text{alguma média diferente}$$

#### Resultados

Após obtenção dos dados por ensaio, foi feita a sua estatística descritiva, apresentada na Tabela 2:

**Tabela 2** - Estatística descritiva dos ensaios de influência da massa nas forças de inserção

Tempo	Estatística Descritiva	[8,5 a 8,9[	[8,9 a 9,2[	[9,2 a 9,6]
T0	Média (daN)	108	106	110
	Desvio-Padrão	5,4	3,9	4,0
T7	Média (daN)	123	126	136
	Desvio-Padrão	6,4	5,0	7,3
T30	Média (daN)	143	150	161
	Desvio-Padrão	5,7	4,1	7,2

Aos dados obtidos foi aplicada a ANOVA, da qual resultaram as Tabelas 3,4 e 5.

**Tabela 3** - Tabela ANOVA referente ao ensaio realizado em  $T_0$ 

Fonte de Variação	SQ	df	MQ	F	Valor P	F crit
Entre Grupos	175,45	2	87,73	4,59	1,40%	3,16
Dentro de Grupos	1090,19	57	19,13			
Total	1265,64	59				

**Tabela 4** - Tabela ANOVA referente ao ensaio realizado em  $T_7$ 

Fonte de Variação	SQ	df	MQ	F	Valor P	F crit
Entre Grupos	1724,52	2	862,26	21,77	9,44E-08	3,16
Dentro de Grupos	2257,24	57	39,60			
Total	3981,77	59				

**Tabela 5** - Tabela ANOVA referente ao ensaio realizado em  $T_{30}$ 

Fonte de Variação	SQ	df	MQ	F	Valor P	F crit
Entre Grupos	2889,13	2	1444,56	48,25	5,48E-13	3,16
Dentro de Grupos	1706,56	57	29,94			
Total	4595,69	59				

Após a aplicação da ANOVA foram verificados os pressupostos de normalidade dos erros e de homogeneidade das variâncias. Para verificar a normalidade dos erros foi necessário determinar os erros relativos às três amostras. Aos erros foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, admitindo como hipótese nula que os erros seguem distribuições Normais. O cálculo dos erros foi realizado da seguinte forma:

$$x_{ij} - \bar{x}_j = E_{ij}$$

em que  $x_{ij}$  representa o valor observado,  $\bar{x}_j$  representa o valor da média amostral e  $E_{ij}$  representa os erros. Considerando os erros como a amostra a testar e um nível de significância de 5%, foi concluído que não se podia rejeitar a hipótese nula, com um valor de prova P de 27%. Nestas circunstâncias o pressuposto da normalidade não foi refutado.

Com o objetivo de testar a homogeneidade das variâncias das populações consideradas foi aplicado o Teste de Bartlett. A hipótese nula foi definida admitindo a igualdade entre as variâncias populacionais. A hipótese alternativa foi estabelecida admitindo a não igualdade entre pelo menos duas variâncias populacionais. Os valores obtidos para a estatística de teste, considerando um nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%, foram:

$$\chi^2_2(5\%) = 5.99$$

$$T_0 \rightarrow X^2 = 1.77 < \chi^2_2(5\%), \text{ com valor de prova } P = 41.12\%$$

$$T_7 \rightarrow X^2 = 2.49 < \chi^2_2(5\%), \text{ com valor de prova } P = 28.87\%$$

$$T_{30} \rightarrow X^2 = 4.77 < \chi^2_2(5\%), \text{ com valor de prova } P = 9.25\%$$



Desta análise foi concluído que não existia evidência estatística de suporte à rejeição da hipótese de homogeneidade de variâncias, em todos os ensaios.

### Conclusões

Após a análise dos resultados da ANOVA, foi possível concluir que existe evidência estatística que a massa das rolhas acabadas influencia o valor esperado das forças de inserção, rejeitando-se a hipótese nula. Com o intuito de identificar entre que grupos se verificou esta diferença, foi aplicado o Método de Scheffé, cujos resultados foram os apresentados nas Tabelas 6,7 e 8:

**Tabela 6** - Resultados do Método de Scheffé referente ao ensaio realizado em  $T_0$

Grupos	xi-xj	Limite Inferior e Superior	Valor zero excluído?
[8.5,8.9[ vs [8.9,9.2[	2,25	-1,23;5,72	Não
[8.5,8.9[ vs [9.2,9.6]	1,94	-1,57;5,42	Não
[8.9,9.2[ vs [9.2,9.6]	4,19	0,71;7,67	Sim

**Tabela 7** - Resultados do Método de Scheffé referente ao ensaio realizado em  $T_7$

Grupos	xi-xj	Limite Inferior e Superior	Valor zero excluído?
[8.5,8.9[ vs [8.9,9.2[	3,165	-1,84;8,17	Não
[8.5,8.9[ vs [9.2,9.6]	12,62	7,62;17,62	Sim
[8.9,9.2[ vs [9.2,9.6]	9,455	4,45;14,45	Sim

**Tabela 8** - Resultados do Método de Scheffé referente ao ensaio realizado em  $T_{30}$

Grupos	xi-xj	Limite Inferior e Superior	Valor zero excluído?
[8.5,8.9[ vs [8.9,9.2[	6,225	1,87;10,57	Sim
[8.5,8.9[ vs [9.2,9.6]	16,81	12,46;21,16	Sim
[8.9,9.2[ vs [9.2,9.6]	10,585	6,24;14,93	Sim

Após análise das Tabelas 6,7 e 8 concluiu-se que quanto mais tempo passar após embalagem mais se acentuará a diferença nos valores esperados para as forças de inserção, para cada intervalo de massa das rolhas. Isto revela a importância da uniformização do tempo de *stock* e da massa em cada encomenda, pois permitirá evitar discrepâncias na inserção das rolhas na linha de engarrafamento do cliente.

### 3.3.1.3. *Estudo da influência da quantidade de rolhas a tratar no mesmo tambor*

#### Objetivo

Com este ensaio pretendeu-se estudar a hipótese da existência de uma diferença nas forças de inserção caso se tratasse no mesmo tambor 18000 ou 9000 rolhas. O tambor em questão tem uma capacidade de 18000 rolhas.

#### Procedimento

Para este ensaio foi seguido o procedimento geral descrito na secção 3.3.1.1.. Foram realizados dois tratamentos, um com 18000 rolhas e outro com 9000. Neste ensaio a massa foi controlada, sendo selecionado o intervalo [8.8;9.2]g. As hipóteses para o teste de hipóteses  $t$  foram definidas da seguinte forma:

$$H_0: \mu_{18000} = \mu_{9000}$$

$$H_1: \mu_{18000} \neq \mu_{9000}$$

#### Resultados

Os dados obtidos com este ensaio foram tratados utilizando o teste  $t$ , uma vez que apenas foram comparadas duas populações. Para se poder proceder a esta análise, foi necessário testar as populações quanto à sua normalidade. Aplicou-se para esse efeito o teste de Shapiro-Wilk, tendo-se concluído com um valor de prova de 68% que as populações em estudo seguem uma distribuição Normal. Antes da aplicação do teste  $t$  foi necessário aplicar o teste  $F$  às variâncias das populações. Deste teste foi concluído que não existe evidência estatística que permita concluir que as variâncias das populações são diferentes. Na Tabela 9 foi apresentada a estatística descritiva dos dados resultantes do ensaio:

**Tabela 9** - Estatística descritiva dos ensaios de influência da quantidade de rolhas tratadas nas forças de inserção

Tempo	Estatística Descritiva	18000	9000
<b>T<sub>0</sub></b>	Média (daN)	106	109
	Desvio-Padrão	3,9	2,5
<b>T<sub>7</sub></b>	Média (daN)	134	133
	Desvio-Padrão	9,7	5,5
<b>T<sub>30</sub></b>	Média (daN)	156	152
	Desvio-Padrão	6,3	4,5

**Tabela 10** - Aplicação do teste  $t$  - Resultados

Tempos	Cálculos estatísticos	
$T_0$	S	3,26
	ET	3,05
	ETcrítico ( $\alpha=5\%$ )	2,024
	Evidência contra hipótese nula	Sim
	Valor P	0.41%
$T_7$	S	7,86
	ET	0,61
	ETcrítico ( $\alpha=5\%$ )	2,024
	Evidência contra hipótese nula	Não
	Valor P	54.42%
$T_{30}$	S	5,45
	ET	2,60
	ETcrítico ( $\alpha=5\%$ )	2,024
	Evidência contra hipótese nula	Sim
	Valor P	1.31%

## Conclusões

Neste ensaio foram observados resultados contraditórios, na medida em que nos instantes  $T_0$  e  $T_{30}$  se verificou a existência de evidência estatística contra a hipótese nula e no instante  $T_7$  o mesmo não sucedeu. Nestas circunstâncias, o teste efetuado é formalmente inconclusivo, ou seja, não há evidência estatística que permita concluir pela não veracidade da hipótese nula. No entanto, é importante realçar que a dimensão da amostra ( $N=20$ ) pode ser insuficiente para demonstrar uma evidência estatística que se julga existir. Em consequência, a seleção de amostras de maior dimensão deverá ser a decisão prática adequada, para tornar as amostras mais representativas do fenómeno que se pretende modelar. O ensaio realizado no instante  $T_{30}$  é, em termos de processo, o mais relevante, uma vez que é o período normal que decorre desde a embalagem até à receção e utilização das rolhas pelos clientes. Do ensaio realizado para esse período concluiu-se que existe evidência estatística que a quantidade de rolhas a tratar num tambor tem influência nas forças de inserção, pelo que deverá ser evitado o tratamento de 9000 rolhas em tambores que suportam 18000. No entanto, uma vez que os resultados observados nos três instantes foram contraditórios, este estudo deverá no futuro ser repetido e os seus resultados comparados com os resultados obtidos no presente ensaio, uma vez que estes poderão ter sido afetados por um fator não controlável não identificado.

### 3.3.1.4. *Estudo da influência do braço de introdução do tratamento nas forças de inserção*

#### Objetivo

Através deste ensaio pretendeu-se estudar a influência do movimento do braço de injeção do tratamento superficial. No processo normal o braço, localizado dentro do tambor, efetua um movimento linear enquanto introduz o tratamento, com o intuito de distribuir uniformemente o produto. Revelou-se interessante estudar se este movimento era realmente necessário, uma vez que um sistema de braço fixo seria mais simples de manter e menos sujeito a avarias, devido à eliminação de peças móveis.

#### Procedimento

Para este ensaio foi seguido o procedimento geral descrito na secção 3.3.1.1. Foram realizados três tratamentos:

1. Braço Fixo – 18000 rolhas;
2. Braço Móvel – 18000 rolhas;
3. Braço Fixo – 18000 rolhas – Este tratamento foi realizado para eliminar uma eventual diferença nas condições ambiente.

De cada população foram retiradas amostras de 20 rolhas com massa dentro do intervalo [8.9;9.1]g. Foi aplicada a ANOVA aos resultados obtidos, seguida da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov aos erros, do qual se concluiu que estes se aproximavam de uma distribuição Normal. Foi também aplicado o teste de Bartlett às variâncias, verificando-se a sua homogeneidade. As hipóteses foram definidas da seguinte forma:

$$H_0: \mu_{\text{Braço Fixo 1}} = \mu_{\text{Braço Móvel}} = \mu_{\text{Braço Fixo 2}}$$

$$H_1: \text{alguma média diferente}$$

As tabelas resultantes da ANOVA e da aplicação do método de Scheffé podem ser consultadas no Anexo D.

## Resultados

**Tabela 11** - Estatística descritiva dos ensaios de influência do movimento do braço de introdução do tratamento nas forças de inserção

Tempo	Estatística Descritiva	Fixo	Móvel	Fixo
<b>T<sub>0</sub></b>	Média (daN)	102	101	100
	Desvio-Padrão	2,7	2,7	3,5
<b>T<sub>7</sub></b>	Média (daN)	131	127	125
	Desvio-Padrão	5,2	6,0	7,5
<b>T<sub>30</sub></b>	Média (daN)	197	199	203
	Desvio-Padrão	10,1	5,2	6,5

## Conclusões

Deste ensaio concluiu-se, por aplicação da ANOVA e do teste de Scheffé, que não existe evidência estatística que permita rejeitar a hipótese nula, ou seja, o movimento do braço de injeção do tratamento não tem, nas condições ensaiadas, influência no valor das forças de inserção. No entanto, o mesmo poderá não se verificar em diferentes condições ambientais, pelo que seria importante repetir no futuro este ensaio em condições de temperatura e humidade mais extremas. Para estar do lado da segurança, o sistema de braço móvel será mantido até o seu funcionamento em todas as condições seja validado.

### 3.3.1.5. *Estudo da influência do tempo de estabilização após tratamento nas forças de inserção*

#### Objetivo

Com este ensaio pretendeu-se estudar a influência do tempo de estabilização após tratamento superficial nas forças de inserção. As rolhas, após tratamento, devem estabilizar durante cerca de 24 horas antes do embalamento. No entanto, por questões de *stock* em excesso na zona pós-tratamento ou armazém de expedição, esse tempo pode ser diferente, o que poderá ter influência na linha de engarrafamento do cliente.

#### Procedimento

Para este ensaio foi seguido o procedimento geral descrito na secção 3.3.1.1.. Foi realizado um tratamento, sendo que:

- 3000 rolhas foram embaladas imediatamente após o tratamento;
- 3000 rolhas foram embaladas 6 horas após o tratamento;
- 3000 rolhas foram embaladas 24 horas após o tratamento;
- 3000 rolhas foram embaladas 72 horas após o tratamento;

De cada população foram retiradas amostras de 20 rolhas com massa dentro do intervalo [8.9;9.1]g. Este ensaio apenas foi realizado ao fim de 7 dias e de 30 dias após o embalamento ( $T_7$  e  $T_{30}$ ). Foi aplicada a ANOVA aos dados obtidos e, de seguida, o teste de Shapiro-Wilk. As hipóteses foram definidas da seguinte forma:

$$H_0: \mu_{0H} = \mu_{6H} = \mu_{24H} = \mu_{72H}$$

$$H_1: \text{alguma média diferente}$$

## Resultados

**Tabela 12** - Estatística descritiva do ensaio de influência do tempo de estabilização nas forças de inserção

Tempo	Estatística Descritiva	0H	6H	24H	72H
$T_7$	Média (daN)	131	130	128	126
	Desvio-Padrão	7,8	4,3	6,3	6,3
$T_{30}$	Média (daN)	157	157	150	145
	Desvio-Padrão	7,1	2,8	8,2	2,9

## Conclusões

A partir da ANOVA, foi possível concluir que existe evidência estatística que o tempo de estabilização após tratamento superficial influencia o valor esperado das forças de inserção, rejeitando-se a hipótese nula. Com o intuito de descobrir entre que grupos se verificou esta diferença, foi aplicado o Método de Scheffé, cujos resultados se encontram no Anexo D. Analisando estes resultados concluiu-se que ao fim de 30 dias ( $T_{30}$ ) surgiu uma diferença estatisticamente significativa entre mais grupos, ou seja, com o passar do tempo de armazenamento, a influência do tempo de estabilização acentua-se. Desta forma foi possível concluir que a uniformização do tempo de estabilização após tratamento superficial é importante, pois permitirá uniformizar o processo de rolhamento na linha de engarrafamento do cliente.

### 3.3.2. Desenvolvimento de Modelos de Regressão Linear Múltipla

#### Objetivo

Um dos desafios propostos durante o projeto foi o de redefinir os intervalos de especificação para as forças de inserção medidas após tratamento superficial, tendo em conta as condições ambiente (Temperatura e Humidade). No início do projeto, o intervalo de especificação para as forças de inserção era sempre o mesmo independentemente das condições de temperatura e de humidade. O objetivo era, então, definir novos intervalos para as diferentes combinações de temperatura e humidade. Seria assim possível reduzir os intervalos de controlo de acordo com as condições existentes no setor, sendo mais fácil a deteção de uma eventual anomalia na aplicação de um tratamento. Para atingir este objetivo, foram desenvolvidos modelos de regressão linear múltipla, utilizando os dados já existentes nas bases de dados do Controlo de Qualidade. Utilizando estes modelos seria possível estimar, dentro de um intervalo de confiança, o valor da força de inserção e compressão para cada intervalo de temperatura e humidade.

Uma vez que os valores das forças obtidos são diferentes consoante o calibre da rolha, foram estabelecidos modelos e, consequentemente, intervalos de especificação, para cada calibre.

#### Calibre 48x30.5

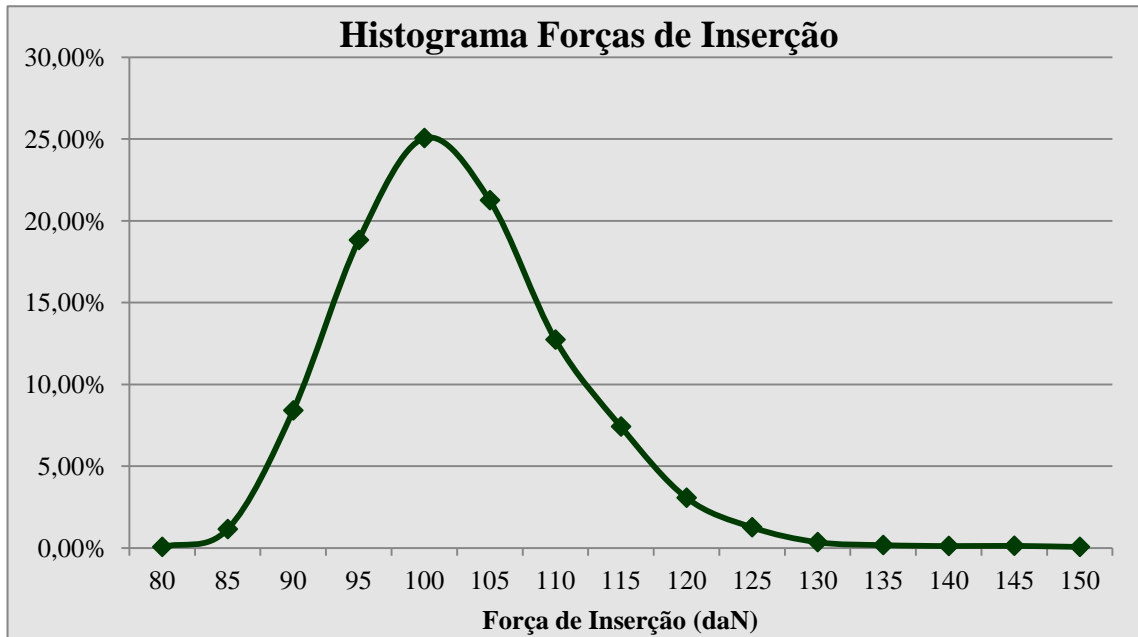
Quando é terminada a operação de tratamento superficial, o operador seleciona aleatoriamente uma amostra de 5 rolhas e efetua o ensaio de medida das forças de inserção e compressão. Para cada ensaio fica também registado o valor de temperatura e humidade medido pelo termo-higrómetro incorporado no equipamento de ensaios. Estes dados são enviados automaticamente para a base de dados do Controlo de Qualidade. Estes dados amostrais serviram de base para a criação dos modelos. O primeiro passo consistiu em determinar a estatística descritiva de todos os ensaios (Tabela 13). Foram utilizados os dados do ano de 2013 para englobar todas as condições de temperatura e humidade verificadas ao longo do ano:

**Tabela 13** - Estatística descritiva para os modelos de regressão a desenvolver

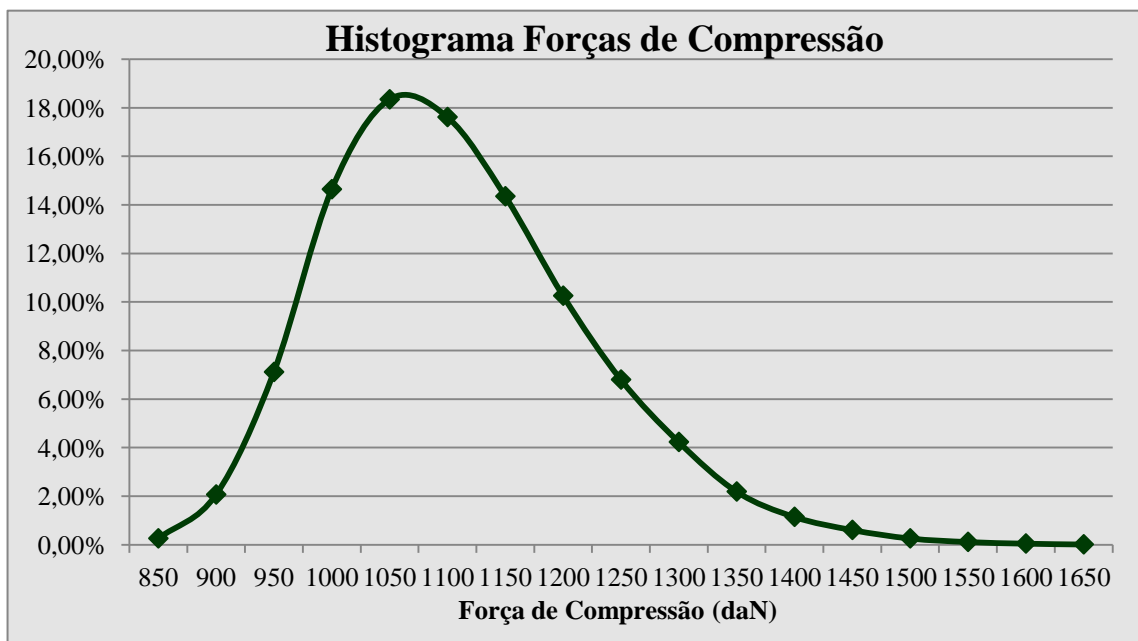
#### Estatística Descritiva

	F. Inserção (daN)	F. Compressão (daN)	Temperatura (°C)	Humidade (%)
<b>Máximo</b>	<b>150</b>	<b>1615,3</b>	<b>25</b>	<b>85</b>
<b>Mínimo</b>	<b>77,2</b>	<b>810,2</b>	<b>10</b>	<b>40</b>
<b>Média</b>	<b>100,3</b>	<b>1084,9</b>	<b>18,6</b>	<b>64,3</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>8,5</b>	<b>112,9</b>	<b>3,0</b>	<b>8,6</b>
<b>Nº de Observações</b>	<b>8916</b>			

Nos Gráficos 4 e 5 estão representados os histogramas de forças de inserção e compressão relativos ao ano de 2013:



**Gráfico 4-** Histograma de Forças de Inserção



**Gráfico 5 -** Histograma de Forças de Inserção

A apresentação dos histogramas é importante pois permite antecipar se as amostras são provenientes de populações Normais. No entanto, a confirmação da normalidade deverá ser baseada num teste de qualidade de ajuste. Para o efeito, foi aplicado o teste à normalidade de uma população de Kolmogorov-Smirnov, no qual se concluiu com um valor de prova P de 20%, que não existe evidência estatística que permita rejeitar a hipótese de as populações às quais as amostras pertencem seguirem uma distribuição Normal. O passo seguinte consistiu em determinar os parâmetros do modelo. Foram selecionados como fatores a estudar a



temperatura e a humidade. Desta forma, o modelo teria três parâmetros a determinar:  $\alpha$ ,  $\beta_{\text{Temperatura}}$  e  $\beta_{\text{Humidade}}$ . A estimativa destes parâmetros foi obtida com auxílio da ferramenta de regressão do *Microsoft Excel*. Os resultados da aplicação do modelo estão representados nas Tabelas 14, 15, e 16.

Tabela 14 - Estatística da Regressão

<b>R múltiplo</b>	0,50
<b>R<sup>2</sup></b>	0,25
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,25
<b>Erro-Padrão</b>	7,36
<b>Observações</b>	8916

Tabela 15 - Tabela ANOVA do modelo de regressão com temperatura e humidade

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância F</i>
<b>Regressão</b>	2	161855,23	80927,61	1493,94	0,00
<b>Residuais</b>	8913	482821,34	54,17		
<b>Total</b>	8915	644676,56			

Tabela 16 - Parâmetros do modelo de regressão com temperatura e humidade

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valor P</i>
<b>Interseção (<math>\alpha</math>)</b>	131,27	0,61	214,34	0,00
<b>Temperatura (<math>\beta_{\text{temperatura}}</math>)</b>	-1,06	0,03	-32,35	0,00
<b>Humidade (<math>\beta_{\text{humidade}}</math>)</b>	-0,17	0,01	-15,22	0,00

Este modelo incluiu todos os fatores em estudo. De seguida foi analisada individualmente a influência de cada fator na variável de resposta. Com isto pretendia-se verificar se cada fator por si só tinha um efeito estatisticamente significativo na variável de resposta. Verificando-se que um certo fator não tinha efeito (principal ou por interação) na variável de resposta, o modelo poderia ser simplificado, eliminando o fator em questão. Antes de serem desenvolvidos os modelos considerando os fatores individualmente foi analisada a sua relação com a variável de resposta na forma de gráfico.

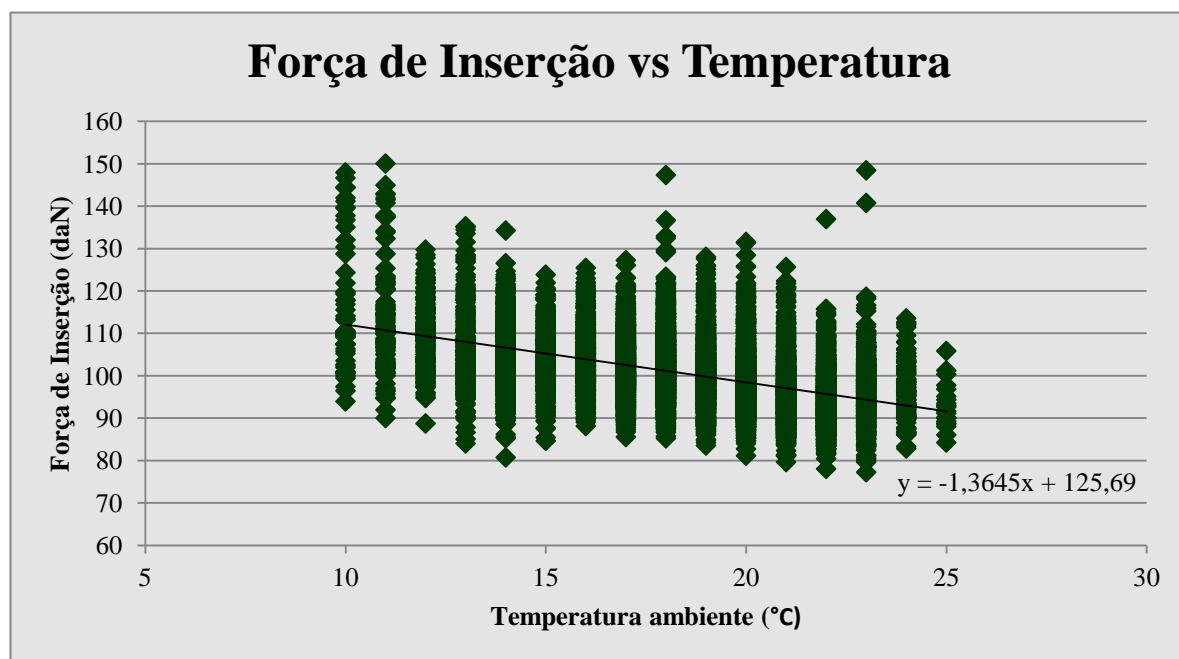


Gráfico 6 - Força de Inserção vs Temperatura Ambiente (Todas as Humidades Relativas)

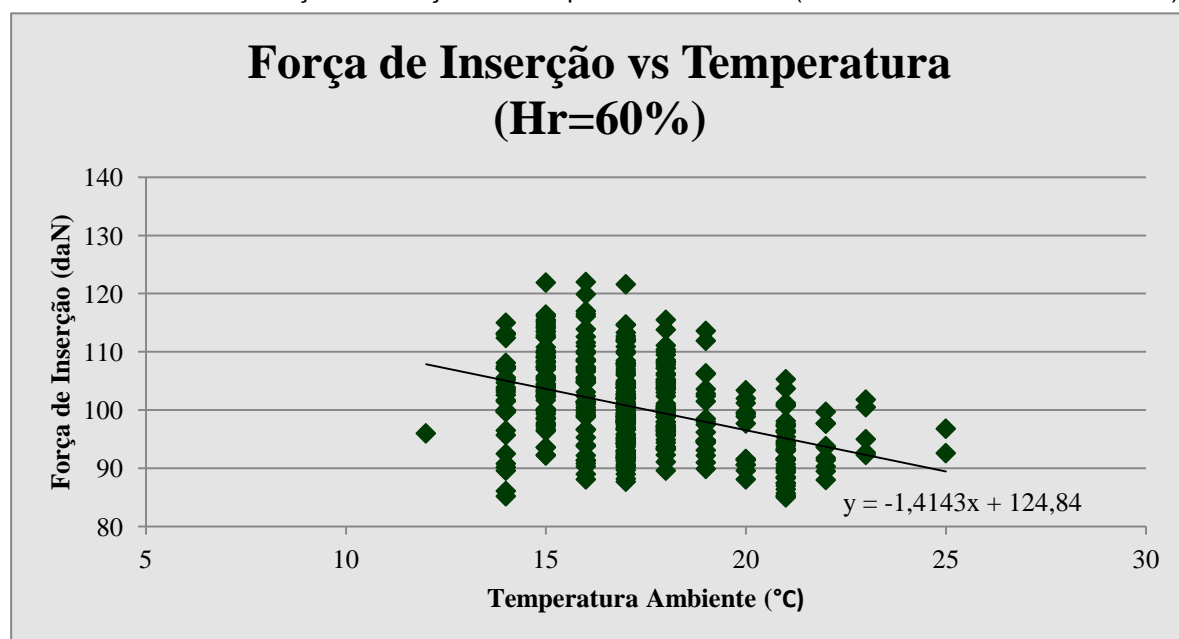


Gráfico 7 - Força de Inserção vs Temperatura Ambiente para Hr constante

Como se pode observar nos Gráficos 6 e 7, ao remover a influência da humidade relativa tornando-a constante, aumentou o efeito da temperatura ambiente na força de inserção. Daqui foi possível concluir que a humidade relativa atenua o efeito da temperatura na variável de resposta. O passo seguinte consistiu em analisar o efeito da humidade relativa, para todas as temperaturas e também para o caso de temperatura constante (Gráficos 8 e 9).

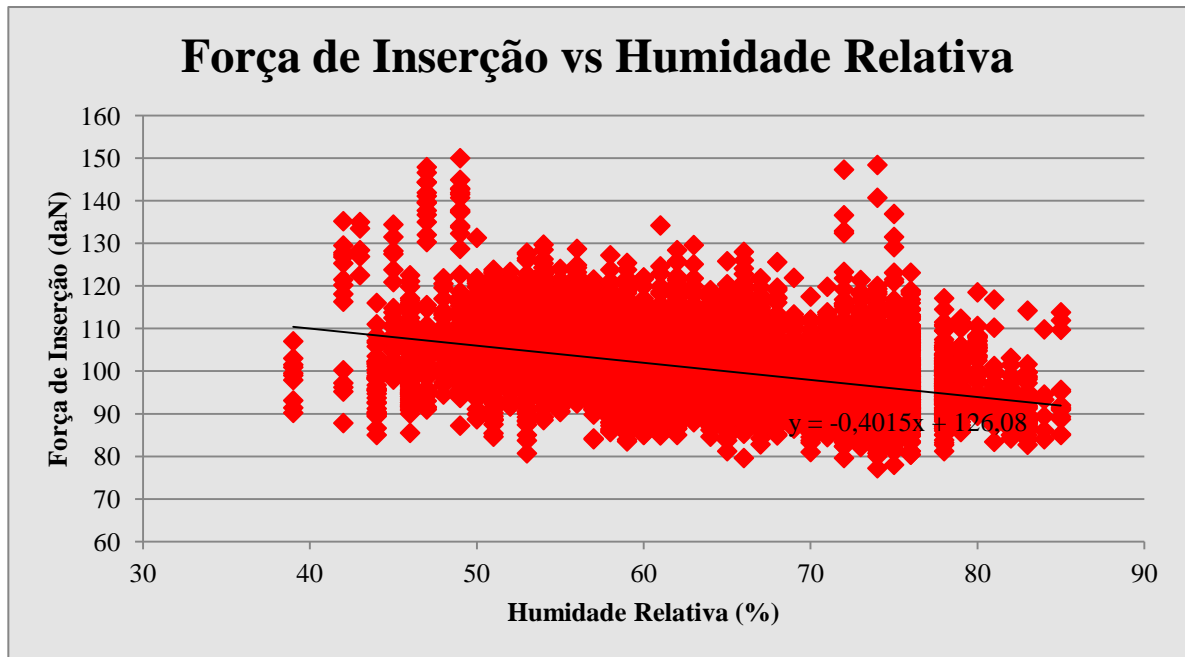


Gráfico 8 - Força de Inserção vs Humidade Relativa (Todas as Temperaturas)

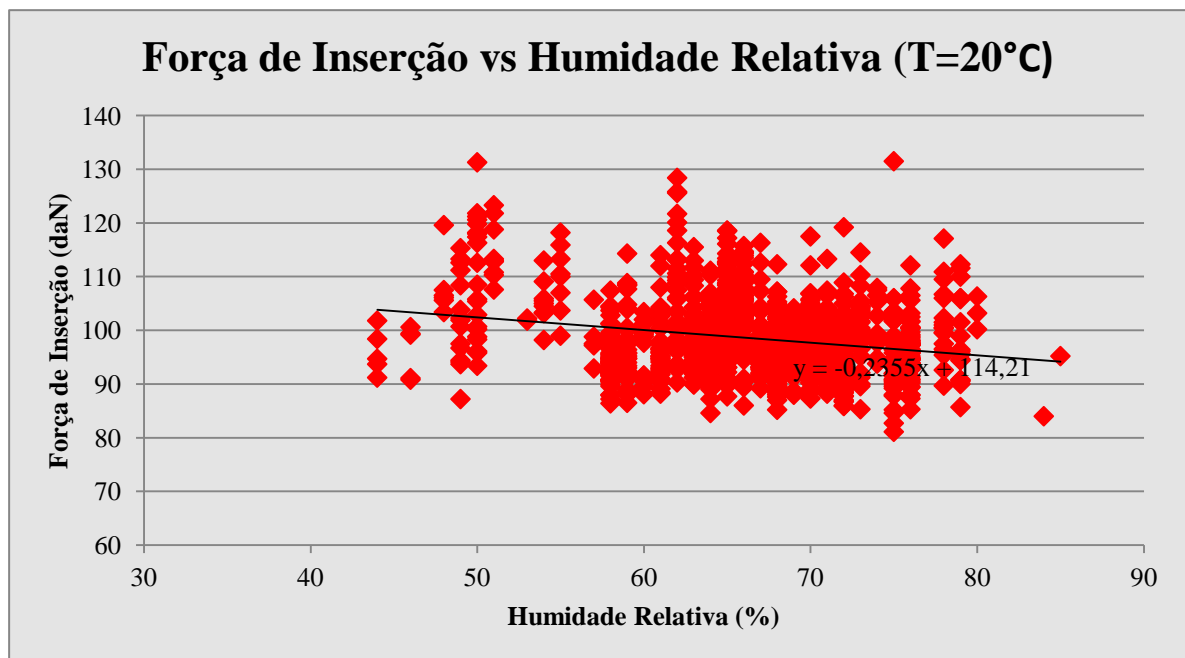


Gráfico 9 - Força de Inserção vs Humidade Relativa para T constante

Tal como sucedeu na análise do efeito da temperatura, aqui verifica-se que o aumento da humidade relativa provoca uma redução da força de inserção. O efeito da temperatura atenua o efeito da humidade relativa. Após esta análise foram desenvolvidos os modelos de estudo dos efeitos individuais de ambos os fatores.

Foi desenvolvido em primeiro lugar o modelo considerando apenas a temperatura, do qual resultaram as Tabelas 17, 18 e 19.

**Tabela 17** - Estatística de regressão para o modelo só com a temperatura

<b>R múltiplo</b>	0,48
<b>R<sup>2</sup></b>	0,23
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,23
<b>Erro-Padrão</b>	7,45
<b>Observações</b>	8916

**Tabela 18** - Tabela ANOVA do modelo de regressão só com a temperatura

	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>Regressão</b>	1	149310,81	149310,81	2686,82	0,00
<b>Residuais</b>	8914	495365,75	55,57		
<b>Total</b>	8915	644676,56			

**Tabela 19** - Parâmetros do modelo de regressão só com temperatura

	Coefficientes	Erro-Padrão	t stat	Valor P
<b>Interseção (<math>\alpha</math>)</b>	125,69	0,49	252,96	0,00
<b>Temperatura (<math>\beta_{\text{temperatura}}</math>)</b>	-1,36	0,027	-51,83	0,00

A análise às Tabelas 17, 18 e 19 permitiu concluir que a temperatura produz um efeito estatisticamente significativo na força de inserção, com um coeficiente de determinação de 23%. De seguida foi estudado o efeito individual da humidade na variável de resposta.

**Tabela 20** - Estatística de regressão para o modelo só com a humidade

<b>R múltiplo</b>	0,40
<b>R<sup>2</sup></b>	0,16
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,16
<b>Erro-Padrão</b>	7,77
<b>Observações</b>	8916

**Tabela 21** - Parâmetros do modelo de regressão só com temperatura

	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>Regressão</b>	1	105156,08	105156,08	1737,39	0
<b>Residuais</b>	8914	539520,47	60,52		
<b>Total</b>	8915	644676,56			

**Tabela 22** - Tabela ANOVA do modelo de regressão só com a humidade

	Coefficientes	Erro-Padrão	t stat	Valor P
<b>Interseção</b>	126,08	0,62	201,81	0,00
<b>Humidade (<math>\beta_{\text{humidade}}</math>)</b>	-0,40	0,01	-41,68	0,00

A análise às Tabelas 20, 21 e 22 permitiu concluir que a humidade também produz um efeito estatisticamente significativo na força de inserção, com um coeficiente de determinação de 16%. Da análise de ambos os modelos de estudo individual dos fatores concluiu-se que a temperatura produz um efeito mais significativo na força de inserção do que a humidade relativa. Desta forma surgiu interesse em realizar uma análise que permitisse analisar a variação introduzida na variável de resposta pela humidade considerando que a temperatura estava já incluída no modelo. Pretendia-se com esta análise determinar se a humidade poderia eventualmente ser excluída do modelo, simplificando-o. Desta forma foi definida a Tabela 23:

**Tabela 23** - Tabela ANOVA para análise do efeito da humidade com a temperatura já incluída no modelo

ANOVA	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>DR(X1,X2)</b>	2	161855,22	80927,61	1493,94	0
<b>DR(Temperatura)</b>	1	149310,81			
<b>DR(Humidade/Temperatura)</b>	1	12544,42	12544,42	231,57	1,20E-51
<b>Residual</b>	8913	482821,33	54,17		
<b>Total</b>	8915	644676,56			

A análise à Tabela 23 permitiu observar que a humidade relativa se mantinha como fator com efeito significativo na variável de resposta. De seguida foi estabelecido o modelo final:

$$Y = \alpha + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2$$

Substituindo os valores dos parâmetros do modelo ( $\alpha$ ,  $\beta_{\text{temperatura}}$  e  $\beta_{\text{humidade}}$ ):

$$F_{\text{Inserção}} = 131.27 - 1.06 * \text{Temperatura} - 0.17 * \text{Humidade}$$

O último passo consistiu na definição dos intervalos de controlo para programar no *software* de controlo das forças de inserção. O termo-higrómetro embutido no equipamento mede a temperatura e humidade relativa e pretendeu-se que adaptasse os limites de especificação de acordo com os valores medidos. Antes do desenvolvimento deste modelo, existia um intervalo único para a força de inserção:

$$F_{\text{Inserção}} \in [80; 130] \text{ daN}, \forall (T, Hr)$$

Para a determinação dos intervalos foi utilizada a previsão do modelo, pretendendo-se garantir que pelo menos 95% dos valores observados estivessem dentro dos intervalos de especificação, em condições normais de tratamento e funcionamento do equipamento de teste. Daqui resultou a Tabela 24:

**Tabela 24** - Intervalos de controlo da força de inserção (daN) definidos para o calibre 48x30.5

Intervalos de Temperatura (°C)		Intervalos de Humidade (%)								
		40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%
		- 44%	- 49%	- 54%	- 59%	- 64%	- 69%	- 74%	- 79%	- 85%
10-13	Limite Superior	130	135	125	125	120	120	120	120	120
	Limite Inferior	85	90	80	80	80	90	90	90	90
14-17	Limite Superior	120	120	120	120	120	120	115	115	115
	Limite Inferior	85	85	80	80	80	80	90	90	90
18-21	Limite Superior	125	120	125	115	120	120	115	115	110
	Limite Inferior	85	85	85	85	90	85	85	80	80
22-25	Limite Superior	110	110	110	110	110	110	110	110	100
	Limite Inferior	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Após a definição dos novos intervalos e com o intuito de os validar, foram seleccionadas as observações relativas ao ano de 2013 e foi verificado se estes valores se encontravam dentro dos novos intervalos definidos de acordo com a sua temperatura e humidade. A análise destes resultados revelou uma percentagem de 96% de valores dentro dos intervalos. No processo produtivo este valor é perfeitamente adequado. Neste novo formato, calculando a diferença média entre os limites superiores e inferiores definidos, foi obtido o valor de 33daN, o que se traduz numa redução de, em média, 34% nos intervalos de controlo, o que representa um ganho de precisão para o processo.

**Calibre 47x29.5**

Para este calibre foi repetido todo o procedimento seguido para o calibre 48x30.5. O modelo determinado é representado pela equação abaixo. Os restantes gráficos e tabelas produzidos encontram-se no Anexo E.

$$F_{Inserção} = 141.77 - 1.19 * Temperatura - 0.36 * Humidade$$

Comparando este modelo com o obtido para o calibre anterior, observou-se que todos os coeficientes deste modelo eram de valor superior, o que resultou em valores globalmente mais reduzidos para as forças de inserção.

Antes do desenvolvimento deste modelo o intervalo definido para as forças de inserção era:

$$F_{Inserção} \in [80; 130] \text{ daN}, \forall (T, Hr)$$

Na Tabela 25 é possível observar os intervalos estabelecidos para as forças de inserção de acordo com o modelo desenvolvido.

**Tabela 25** - Intervalos de controlo da força de inserção (daN) definidos para o calibre 48x29.5

Intervalos de Temperatura (°C)		Intervalos de Humidade (%)								
		40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%
		- 44%	- 49%	- 54%	- 59%	- 64%	- 69%	- 74%	- 79%	- 85%
10-13	Limite Superior	130	130	130	130	120	120	120	115	115
	Limite Inferior	90	90	90	90	90	90	90	90	90
14-17	Limite Superior	130	130	130	120	120	115	115	110	110
	Limite Inferior	80	90	90	90	90	90	80	80	80
18-21	Limite Superior	120	120	110	115	115	115	110	110	110
	Limite Inferior	90	90	80	90	80	80	80	80	80
22-25	Limite Superior	120	115	110	110	110	115	110	110	100
	Limite Inferior	90	90	80	80	80	80	80	80	80

**Calibre 48x31**

Mais uma vez foi repetido o procedimento seguido para os restantes calibres. O modelo determinado é representado pela equação:

$$F_{Inserção} = 141.82 - 0.76 * Temperatura - 0.37 * Humidade$$

Neste modelo os coeficientes  $\alpha$  e  $\beta_{humidade}$  obtidos são semelhantes aos mesmos coeficientes do modelo para o calibre 47x29.5. No entanto, como o coeficiente da temperatura é inferior em cerca de 40% relativamente ao mesmo coeficiente no modelo do calibre 47x29.5, a previsão deste modelo para as mesmas condições de temperatura e humidade relativa será sempre superior.

Antes do desenvolvimento deste modelo o intervalo definido para as forças de inserção era:

$$F_{Inserção} \in [85; 135] \text{ daN}, \forall (T, Hr)$$

Na Tabela 26 é possível observar os intervalos estabelecidos para as forças de inserção de acordo com o modelo desenvolvido.

**Tabela 26** - Intervalos de controlo da força de inserção (daN) definidos para o calibre 48x31

Intervalos de Temperatura (°C)		Intervalos de Humidade (%)								
		40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%
		- 44%	- 49%	- 54%	- 59%	- 64%	- 69%	- 74%	- 79%	- 85%
10-13	Limite Superior	145	145	130	130	130	125	125	125	125
	Limite Inferior	110	110	90	90	90	90	90	90	90
14-17	Limite Superior	145	145	145	145	145	145	145	135	130
	Limite Inferior	110	105	105	95	95	95	95	95	90
18-21	Limite Superior	145	145	140	140	140	140	135	135	125
	Limite Inferior	100	100	95	95	95	95	95	90	90
22-25	Limite Superior	130	130	120	120	120	120	120	115	115
	Limite Inferior	90	90	90	85	80	80	80	80	80



### 3.3.3. Metodologia de Desenho de Experiências

O estudo dos fatores que influenciam a inserção e compressão poderia ter sido mais completo, na medida em que existem outros fatores cujos efeitos foram ignorados, uma vez que levaria muito tempo a testá-los adequadamente. Esta decisão teve influência nos modelos de regressão determinados, baixando o valor do seu coeficiente de determinação. Isto traduz-se no facto de numa grande parte da variação da variável de resposta ficar por explicar pelo modelo.

A metodologia de Desenho de Experiências permite elaborar um plano de ação com o objetivo de testar todos os fatores a todos os seus níveis, de forma muito mais eficiente e económica. Este tipo de abordagem é particularmente interessante numa unidade industrial que possui tantos fatores potencialmente significativos e tão pouco tempo para validar teorias. No entanto, este método não foi utilizado no período do projeto uma vez que nos setores onde foram realizados estudos existiu sempre a influência de fatores incontrolláveis. Por esta razão não seria possível programar as experiências e combinar todos os fatores a todos os seus níveis. De qualquer forma, sendo uma metodologia interessante e importante num contexto industrial, foi elaborada uma síntese deste método experimental.

A metodologia de Desenho de Experiências foca-se na elaboração de um plano de experiências. Para isso, foi necessário compreender os conceitos-base desta abordagem experimental:

**Fator** – Propriedade do produto ou processo que se suspeita que possa ter influência no desempenho do mesmo. Um fator pode ser um atributo ou uma variável mensurável, definido da seguinte forma:

Quantitativo – Temperatura, Pressão,...;

Qualitativo – Tipo de material, tipo de máquina,...;

Controlável – Quando é possível fixar o seu valor;

Ruído (Não controlável) – Quando não é possível ou desejável fixar o seu valor.

**Nível** – Representa um valor particular de um fator. A determinação dos níveis a considerar para cada fator é da responsabilidade do experimentador. É recomendada a limitação dos níveis, com vista a simplificar o plano experimental, desde que seja reconhecido o perigo do aparecimento de respostas não-lineares.

**Resposta** – Resultado experimental observado para uma combinação específica de fatores;

**Efeito** – Consiste na alteração do valor esperado da variável de resposta provocada pela alteração unitária do fator considerado;

**Interação** – Consiste na alteração do valor esperado da variável de resposta provocada pela alteração unitária da combinação linear de dois ou mais fatores;

**Experiência** – É definida pela combinação de diferentes fatores a níveis específicos.

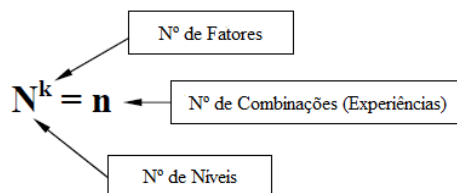
No final, o plano de experiências consiste num conjunto de experiências devidamente planeadas em termos de fatores, níveis e tempo. Os seus resultados são analisados utilizando a ANOVA, que permite determinar se os efeitos e interações aparentes são estatisticamente significativos ou se resultam da variabilidade inerente ao processo.

Após a determinação dos fatores e escolha dos seus níveis, existem várias opções no que toca ao método experimental a adotar:

**Método Experimental de Emergência** – Quando surge um problema no processo produtivo, a pessoa responsável pelo mesmo vai experimentando várias combinações de fatores até conseguir replicar o efeito que surgiu, identificando assim a sua causa. Esta metodologia é normalmente aplicada quando não existe um conhecimento das técnicas de Desenho de Experiências;

**Método Experimental *One-at-a-time*** – Consiste em estudar um fator de cada vez, fixando-o no nível corresponde ao seu melhor resultado. O processo termina quando todos os fatores tiverem sido verificados. Este método permite ordenar os fatores por ordem de importância.

**Análise Experimental Completa (*All together*)** – Esta metodologia de elaboração do plano experimental considera as combinações de todos os fatores a todos os níveis, sendo assim o mais completo. Conhecendo o número de fatores e níveis é possível determinar o número de experiências a realizar, através da seguinte expressão:



Daqui é possível concluir que o número de combinações possíveis aumenta exponencialmente com o número de fatores em estudo. Esta é a principal desvantagem desta análise, pelo que é importante tentar manter o número de níveis de cada fator reduzido.

**Análise Experimental Fracional** – Esta análise pode ser vista como um caso particular da Análise Experimental Completa, e é aplicada quando o número de combinações determinado é inaceitável em termos de processo. Isto sucede quando existem muitos possíveis fatores com uma influência significativa na variável de resposta, ou quando as experiências têm custos associados elevados (por exemplo, quando envolvem testes destrutivos). Para resolver este tipo de problema é necessária a aplicação de técnicas de redução do número de combinações. No entanto, ao reduzir o número de experiências, alguma informação relativa às interações será perdida, sendo esta perda de mínima consequência se o planeamento for realizado de forma cuidada. No caso de um processo industrial complexo, esta análise revela-se frequentemente como a mais adequada, visto que permite a redução do número de testes a realizar e permite a sua realização num curto espaço de tempo, homogeneizando as condições de realização e os seus resultados. A principal vantagem desta abordagem é conseguir obter informação relativa a vários efeitos principais com metade dos testes necessários no caso de uma análise completa. No entanto, com a redução do número de testes aumenta a probabilidade de se considerar o efeito principal de um fator significativo no valor da variável de resposta quando na realidade esse valor foi provocado pela interação entre três fatores (Marques e Leitão 2013).

### 3.4. Controlo de qualidade e monitorização do processo no setor da Moldação

A moldação foi um dos setores onde se centraram os esforços de implementação de melhorias. Descrevem-se de seguida três estudos realizados neste setor.

#### 3.4.1. Estudo da influência da percentagem de cola nas características do produto

##### Objetivo

No processo de mistura realizado antes da moldação é introduzida uma quantidade pré-definida de granulado, cola e dois óleos. Embora estas quantidades sejam controladas, é possível o aparecimento de uma anomalia que provoque a entrada de granulado a mais ou a menos no processo de mistura. Com este estudo pretendeu-se analisar os efeitos desta anomalia em várias características do produto. A diferente quantidade de granulado traduz-se numa percentagem de cola também diferente.

##### Procedimento, Resultados e Conclusões

Inicialmente foram estabelecidas as misturas a ensaiar de forma a testar convenientemente os efeitos de diferentes percentagens de cola, tendo em conta que quando ocorre uma anomalia no processo de mistura a percentagem de cola não se desvia muito do valor pré-estabelecido. No entanto, esse pequeno desvio poderá ser suficiente para produzir rolhas fora do intervalo de controlo. Foram selecionadas quatro formulações com quatro percentagens de cola diferentes:

- Formulação 1
- Formulação 2 (Formulação *standard* usada no processo)
- Formulação 3
- Formulação 4

sendo que:

$$\%Cola (Formulação 1) < \%Cola (Formulação 2) < \%Cola (Formulação 3) < \%Cola (Formulação 4)$$

Na segunda fase do estudo foram definidas as características do produto a analisar:

- Forças de Inserção;
- Massa das rolhas após acabamentos mecânicos;
- Vedações;
- Absorções;

##### 1º Ensaio – Forças de Inserção

Para este ensaio foi adotado o procedimento geral descrito na secção 3.3.1.1., tendo sido selecionadas 20 rolhas de cada formulação, com massa controlada entre 8.9 e 9.1 [g]. Aos dados obtidos foi aplicada a ANOVA, definindo a hipótese nula como a igualdade entre os valores esperados das forças de inserção para todas as misturas. A hipótese alternativa foi definida admitindo a desigualdade entre pelo menos dois dos valores esperados das forças de

inserção. Da análise de variância concluiu-se que nos três ensaios (T0, T7 e T30) existiam diferenças significativas entre os valores esperados para as forças de inserção, pelo que foi aplicado o Método de Scheffé para determinar entre que grupos se verificaram as diferenças. Em todos os ensaios as diferenças surgiram entre os mesmos grupos:

- Formulação 4 versus Formulação 1
- Formulação 4 versus Formulação 2
- Formulação 4 versus Formulação 3

Foi assim possível concluir que o aumento da percentagem de cola afeta significativamente o valor esperado das forças de inserção (diminuindo os seus valores). Concluiu-se também que pequenas oscilações na percentagem de cola em relação ao valor *standard* não introduzem diferenças significativas no valor esperado das forças de inserção.

## 2º Ensaio – Massa

O segundo ensaio procurou avaliar se diferentes percentagens de cola poderiam afetar a massa das rolhas após acabamento, levando eventualmente ao não cumprimento dos limites de especificação. Neste ensaio foi utilizada uma balança industrial para medir a massa das quatro formulações completas. Na Tabela 27 foram colocados os dados obtidos diretamente da balança. A Figura 19 apresenta uma tabela com os dados relativos à massa das quatro formulações:

**Tabela 27** - Estatística descritiva da medição das massas para as diferentes percentagens de cola

Formulação	1	2	3	4
<b>Aceites</b>	1289	1199	1336	2026
<b>Rejeitadas</b>	3	2	0	7
<b>% Rejeitadas</b>	0,2%	0,2%	0,0%	0,3%
<b>Motivo</b>	Leves	Leves	-	Leves
<b>Média (g)</b>	8,82	8,96	8,88	8,78
<b>Desvio Padrão</b>	0,22	0,22	0,21	0,19
<b>Limite Superior</b>	10,5	10,5	10,5	10,5
<b>Limite Inferior</b>	8	8	8	8

Formulação	1	2	3	4
<7,4	0	1	0	4
7,4-7,8	1	1	0	2
7,8-8,2	3	0	0	3
8,2-8,4	15	8	8	23
8,4-8,6	115	34	64	175
8,6-8,8	354	138	272	699
8,8-9,0	467	374	519	789
9,0-9,2	231	415	345	266
9,2-9,4	91	200	114	65
9,4-9,6	15	30	14	7
9,6-9,8	0	0	0	0
9,8-10,2	0	0	0	0
10,2-10,6	0	0	0	0
>10,6	0	0	0	0

**Figura 19** - Histograma de massas para as diferentes percentagens de cola

A estes resultados não se justificou a aplicação de um teste estatístico uma vez que a variação da percentagem de cola não tem um impacto significativo na percentagem de rolhas rejeitadas, em termos de processo industrial. Embora uma análise estatística pudesse identificar uma diferença estatisticamente significativa entre as quatro formulações, na prática esta seria desprezável.

### 3º Ensaio – Vedação

O ensaio de vedação permite avaliar a capacidade das rolhas para vedar o conteúdo da garrafa do ar exterior, uma característica muito importante em bebidas gaseificadas. Uma fraca capacidade de vedação poderá levar à perda do gás e contaminação da bebida, o que por sua vez poderá implicar uma reclamação do cliente. O ensaio de vedação é realizado no equipamento da Figura 20, mergulhando as rolhas em água, utilizando pistões para segurar e comprimir ligeiramente as rolhas e injetando ar comprimido a 10bar. A pressão de uma garrafa comum toma valores na casa dos 5 ou 6bar, pelo que este ensaio foi realizado em condições extremas de engarrafamento, que ocorrem apenas quando as rolhas são introduzidas nas garrafas e estas não são colocadas imediatamente no mercado, o que provoca um aumento da pressão no interior da garrafa.



**Figura 20** - Equipamento para ensaios de vedação

Nos ensaios de vedação podem ser identificados diversos tipos de fugas:

- **Fuga pelo topo** – Fuga na zona de contacto entre o pistão e o topo da rolha, provocada principalmente por irregularidades na superfície da rolha;
- **Fuga pelo corpo** – Fuga pela superfície lateral da rolha. Neste caso o ar injetado consegue penetrar o corpo e sai pela superfície lateral. Não é uma fuga grave. Pode existir mais do que uma fuga deste tipo numa rolha;
- **Fuga pelo topo oposto** – Fuga no topo inferior, oposto ao da injeção do ar comprimido. É o tipo de fuga mais grave, implicando a segregação completa das rolhas. Significa que o ar conseguiu atravessar toda a rolha longitudinalmente.

Na Tabela 28 foram colocados os resultados deste ensaio (para cada mistura foram testadas 24 rolhas):

**Tabela 28** - Resultados do Ensaio de Vedação

Formulação	Tipo de Fuga			TOTAL
	1 orifício topo ou superfície lateral	Vários orifícios	Topo oposto	
4	0	0	0	0
2	1	1	0	2
1	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Apenas foram identificadas fugas em duas rolhas, ambas na formulação *standard* (2), um valor aceitável em termos de processo, concluindo-se assim que a variação da percentagem de cola não afeta negativamente a capacidade de vedação do produto final.

#### 4º Ensaio – Absorção

O ensaio de absorção permite medir a tendência das rolhas a absorver o líquido em que estão inseridas. O ensaio foi realizado da seguinte forma:

1. Medição da massa de todas as rolhas;
2. Imersão das rolhas em recipientes com água;
3. Inserção dos recipientes na estufa a 50°C durante 72 horas;
4. Remoção das rolhas e secagem durante 30 minutos;
5. Medição da massa de todas as rolhas;

Medindo a diferença entre a massa inicial e final das rolhas foi possível determinar a percentagem absorvida de água. Os valores obtidos foram colocados na Tabela 29:

**Tabela 29** - Estatística descritiva do ensaio de absorção

Formulação	Máximo	Médio	Mínimo	Desvio-Padrão
1	22,22%	18,31%	15,56%	1,75%
2	22,12%	19,51%	16,72%	1,63%
3	18,89%	15,99%	13,04%	1,76%
4	18,40%	16,76%	14,48%	1,06%

Aos dados deste ensaio foi aplicada a ANOVA, da qual resultou a tabela do Anexo F. Desta análise concluiu-se que existiam diferenças significativas entre os grupos, com um valor de prova de aproximadamente 0%. De seguida foi utilizado o Método de Scheffé (resultados no Anexo F) para determinar entre grupos se verificou as diferenças identificadas pela ANOVA. Daqui foi concluído que apenas não se verificou uma diferença estatisticamente significativa entre os valores esperados das absorções das formulações 3 e 4, sendo que estas misturas apresentaram percentagens de absorção inferiores. A principal conclusão retirada deste ensaio foi que o aumento da percentagem de cola provoca uma redução na percentagem de água absorvida pelas rolhas, o que se poderá dever ao facto de a cola não ser um material absorvente, logo, aumentando a sua percentagem a rolha não conseguirá absorver a água. Em termos de processo isto representa uma vantagem uma vez que se pretende minimizar a percentagem de água absorvida.

#### Conclusões Globais

Com este estudo foi possível identificar a percentagem de cola como um fator com efeitos estatisticamente significativos nas características do produto, nomeadamente na absorção e nas forças de inserção. Em termos de processo é então importante minimizar a variabilidade da percentagem de cola na moldação, essencialmente pelos efeitos que esta variabilidade poderá ter nas forças de inserção.



### 3.4.2. Controlo diário de massas dos corpos da Moldação – $C_p$ e $C_{p_k}$

O controlo diário das massas dos corpos após a sua moldação surgiu da necessidade de observar como esta característica se localiza e distribui dentro dos limites de especificação, inferindo sobre a capacidade do processo para cumprir os mesmos. Para isso, a abordagem ao problema passou pela elaboração de histogramas diários e semanais para cada moldadora e pelo cálculo dos respetivos índices de capacidade do processo. Na Figura 21 é possível observar a frequência relativa e índices de capacidade do processo para a semana 7 de produção do ano de 2014 (10 a 14 de fevereiro) relativos às moldadoras 1 (esquerda) e 2 (direita), sendo que os restantes dados obtidos e analisados se encontram no Anexo G.

Intervalo (g)	10-fev	11-fev	12-fev	13-fev	14-fev	Intervalo (g)	10-fev	11-fev	12-fev	13-fev	14-fev
9,5	0	0	0	0	0	9,5		0	0	0	0
9,8	0	0	0	0	0	9,8		0	0	0	0
10,1	0	9	6	3	0	10,1		0	0	0	0
10,4	9	17	11	7	1	10,4		1	1	0	0
10,7	7	11	5	16	8	10,7		2	2	10	12
11,0	4	6	3	11	3	11,0		12	11	15	10
11,3	4	0	0	4	2	11,3		13	12	14	12
11,6	0	0	0	1	0	11,6		9	3	5	5
11,9	0	0	0	1	0	11,9		3	1	1	1
12,2	0	0	0	0	0	12,2		0	0	0	0
>12,2	0	0	0	0	0	>12,2		0	0	0	0
n	24	43	25	43	14	n		40	30	45	40
Média	10,56	10,36	10,33	10,63	10,68	Média		11,12	11,02	10,95	10,94
Desvio-Padrão	0,33	0,30	0,28	0,36	0,26	Desvio-Padrão		0,33	0,29	0,31	0,34
Lim Superior	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80	Lim Superior		11,80	11,80	11,80	11,80
Lim Inferior	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	Lim Inferior		10,00	10,00	10,00	10,00
$C_p$	0,92	1,01	1,06	0,82	1,16	$C_p$		0,92	1,05	0,96	0,88
$C_{p_k}$	0,57	0,40	0,39	0,58	0,87	$C_{p_k}$		0,70	0,91	0,90	0,84

**Figura 21-** Índices relativos à semana 7 de produção da moldadora 1 (esquerda) e moldadora 2 (direita)

A análise diária da massa e dos valores obtidos para os índices de capacidade do processo permitiu concluir que a variabilidade da massa era significativa, evidenciando uma falta de capacidade do processo em manter-se centrado e dentro dos limites de especificação, pelo que seria necessário atuar. As condições de funcionamento das máquinas no setor são iguais, pelo que foi identificada como possível causa a heterogeneidade da matéria-prima utilizada. Esta conclusão surgiu do facto de se verificar que havia uma tendência de várias máquinas apresentarem, no mesmo período de tempo, índices de capacidade de processo diferentes.



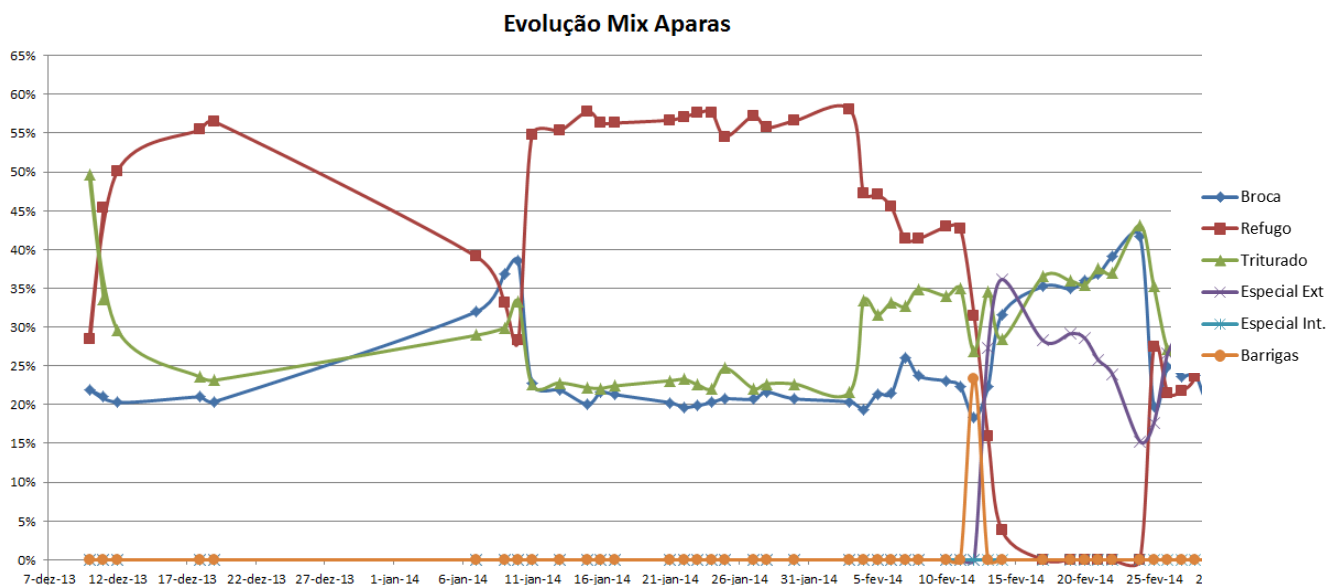
### 3.4.3. Análise do Mix de Aparas versus $C_p$ e $C_{p_k}$ dos corpos

Este estudo teve como objetivo principal a redução da variabilidade da massa dos corpos após a moldação, observada na análise realizada na secção 3.4.2. Para alcançar este objetivo foi necessário estabelecer uma metodologia de abordagem ao problema, tendo sido identificada como possível causa a heterogeneidade da matéria-prima utilizada.

O granulado utilizado na moldação é fornecido por outra empresa do grupo Amorim & Irmãos, S.A., e é produzido por trituração de diferentes tipos de apara. Verifica-se que o granulado não é consistente em termos de propriedades. Existem seis tipos essenciais de apara:

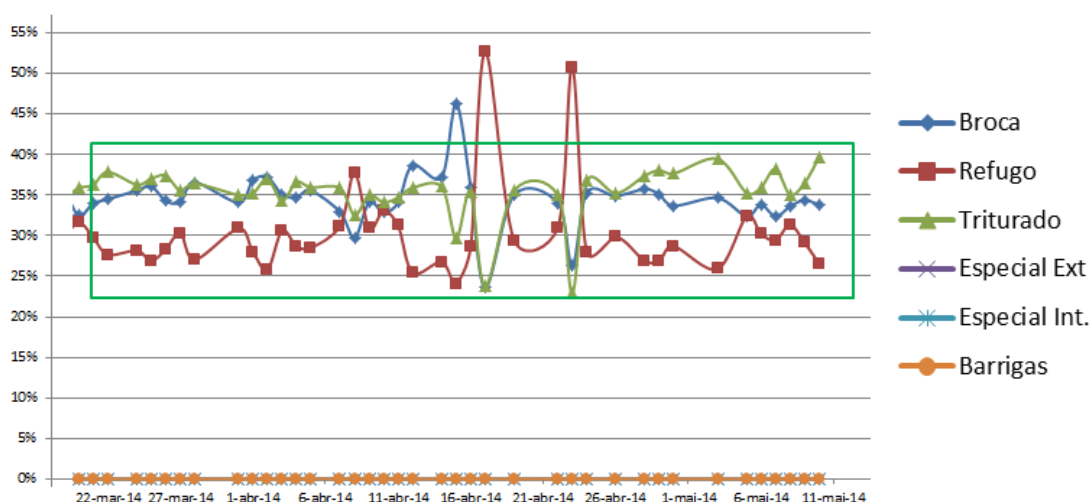
- Broca,
- Refugo,
- Triturado,
- Especial Externo,
- Especial Interno,
- Barrigas.

Cada tipo de apara apresenta as suas particularidades em termos de propriedades, o que confere muita heterogeneidade ao granulado o que, por sua vez, introduz muita variabilidade no processo de moldação. A apara é depois triturada e enviada para a Champcork. Após o estudo de capacidade do processo de moldação foi iniciado o controlo do *mix* de aparas produzido. A informação relativa à trituração da apara foi analisada diariamente para ser possível o acompanhamento constante deste processo. Os dados foram organizados por dia e tipo de apara, apresentando-se a frequência absoluta e relativa das quantidades produzidas (Anexo H). Foi também recebida a informação relativa aos dias do ano de 2014 que tinham já passado, com vista a produzir um gráfico com início em janeiro. No início do mês de março já se observava um padrão de trituração, ou falta dele. O Gráfico 8 representa a parte do gráfico correspondente ao período inicial do estudo, onde foi possível observar que não existia coerência no *mix* das aparas trituradas.



**Gráfico 8** - Evolução do Mix de Aparas da semana 1 até à semana 12

O passo seguinte foi tentar homogeneizar o processo de trituração ao longo do tempo, encontrando o *mix* de aparas ideal para a produção de rolhas de champanhe. Para que fosse possível avaliar devidamente cada *mix* foi necessário que este se mantivesse constante durante pelo menos três dias, porque, de outra forma, não se conseguiria associar com certeza o *mix* às características do produto após a moldação, nomeadamente a massa. Foi feito o acompanhamento da evolução do gráfico da Figura 23 em simultâneo com a evolução dos índices de capacidade do processo  $C_p$  e  $C_{pk}$ . A meio do mês de março verificou-se que o *mix* de aparas produzido estava a resultar em valores elevados de índices de capacidade do processo, reduzindo a sua variabilidade (Gráfico 9). Assim, tentou-se que o *mix* produzido se mantivesse nestes valores.



**Gráfico 9** - Evolução do Mix de Aparas a partir da semana 12

Intervalo (g)	24-mar	25-mar	26-mar	27-mar	28-mar
9,5	0	0	0	0	0
9,8	0	0	0	0	0
10,1	0	0	0	0	0
10,4	3	1	2	0	2
10,7	12	18	10	6	11
11,0	12	19	9	10	15
11,3	3	7	4	7	7
11,6	0	0	0	2	0
11,9	0	0	0	0	0
12,2	0	0	0	0	0
>12.2	0	0	0	0	0
n	30	45	25	25	35
Média	10,68	10,77	10,71	10,92	10,79
Desvio-Padrão	0,24	0,22	0,23	0,24	0,22
Lim Superior	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80
Lim Inferior	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
$C_p$	1,27	1,38	1,30	1,25	1,35
$C_{pk}$	0,96	1,18	1,02	1,23	1,18

Intervalo (g)	05-mai	06-mai	07-mai	08-mai	09-mai	10-mai
9,5	0	0	0	0	0	0
9,8	0	0	0	0	0	0
10,1	0	0	0	0	0	0
10,4	1	0	1	0	0	0
10,7	8	8	9	8	5	2
11,0	7	11	7	9	14	6
11,3	4	6	3	3	6	2
11,6	0	0	0	0	0	0
11,9	0	0	0	0	0	0
12,2	0	0	0	0	0	0
>12.2	0	0	0	0	0	0
n	20	25	20	20	25	10
Média	10,75	10,83	10,77	10,79	10,85	10,84
Desvio-Padrão	0,24	0,20	0,24	0,25	0,21	0,19
Lim Superior	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80
Lim Inferior	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
$C_p$	1,23	1,53	1,25	1,19	1,44	1,54
$C_{pk}$	1,03	1,41	1,06	1,05	1,36	1,44

**Figura 22** - Índices relativos à semana 12 e 19 de produção da moldadora 2

Continuaram a verificar-se melhorias que resultaram na produção de rolhas com propriedades consistentes, como se pode verificar pela análise da evolução dos valores de  $C_p$  e  $C_{p_k}$  das Tabelas 78 e 79 do Anexo G. A partir daí foram definidos limites recomendados para a produção do *mix* de apara:

- Broca, Refugo e Triturado – Estes três tipos de apara deverão apresentar percentagens individuais entre os 25% e 40%, sendo que a percentagem de Refugo deverá ser sempre inferior à percentagem de broca e triturado;
- Especial Externo – [0%, 10%]
- Especial Interno - [0%, 10%]
- Barrigas - [0%, 10%]

Esta análise deve ser contínua, de forma a controlar a mistura de granulado, garantindo que se mantém nos valores estabelecidos. Para além disso, a análise constante potenciará a melhoria, pois poderá permitir a identificação de um *mix* de aparas mais favorável, que produza resultados ainda melhores.

#### 3.4.4. Estudo de otimização dos tempos de ciclo – Moldadora 6

##### Objetivo

No setor da moldação existem seis máquinas, funcionando uma delas, a moldadora 6, em contínuo, sem necessidade de intervenção do operador. Com este estudo pretendeu-se analisar a possibilidade do aumento da cadência de produção da máquina, sem sacrificar a qualidade do produto final.

##### Procedimento

O primeiro passo deste estudo consistiu em analisar todo o processo de moldação da máquina 6, identificando as diferentes operações. O processo de moldação pode ser dividido em duas fases distintas:

- Mistura;
- Prensagem/Moldação.

O processo de mistura é constituído por várias operações e inicia-se com o fecho das comportas do misturador:

1. Após fecho das comportas existe um tempo de espera por parte do misturador;
2. Após o tempo de espera inicia-se a descarga de granulado para o misturador;
3. De seguida é feita a correção de humidade, onde é introduzido automaticamente um jato de água na mistura;
4. Ao mesmo tempo as pás do misturador iniciam o seu movimento de mistura;
5. Após 1 minuto de mistura é descarregada a cola que se vai misturar com o granulado;
6. Após a descarga da cola é feita uma mistura durante 5 minutos;
7. De seguida é feita a descarga dos óleos de lubrificação, espaçada por 30 segundos de mistura;
8. Depois da introdução dos óleos o misturador fica a trabalhar durante 3 minutos;

9. Terminados os 3 minutos o misturador para e aguarda que a moega inferior fique vazia (tempo de folga);
10. Quando a moldadora termina o consumo do granulado existente na moega inferior, as comportas abrem e a mistura terminada é descarregada. As comportas são encerradas imediatamente e o ciclo recomeça.

A mistura é depois transportada para a moega da moldadora. Este transporte é realizado mediante pedido por parte da moldadora. O controlo é efetuado através da utilização de níveis que detetam a presença ou falta de granulado, enviando a informação para o controlador, que por sua vez ativa ou desativa o transporte do granulado. A prensagem é feita pela moldadora, onde os corpos são encerrados em tabuleiros de moldação que são transportados por corrente para uma estufa a 120°C durante 60 minutos.

O passo seguinte consistiu em medir os tempos operacionais, tendo sido realizadas diversas medições para inferir sobre a variabilidade do processo. Os tempos medidos foram organizados por operação na fase de mistura:

**Tabela 30** - Tempos operacionais para o ciclo de mistura

<b>Tarefa</b>	<b>Mínimo (s)</b>	<b>Médio (s)</b>	<b>Máximo (s)</b>	<b>Desvio-Padrão (s)</b>
<i>Aguarda após fecho das comportas</i>	2	2,0	2	0,00
<i>Descarga granulado da moega superior</i>	33	34,0	34	0,20
<i>Correção de Humidade</i>	1	1,0	1	0,00
<i>Mistura</i>	60	60,0	60	0,00
<i>Descarga de cola</i>	30	35,0	40	1,55
<i>Mistura</i>	300	300,0	300	0,00
<i>Descarga óleo 1</i>	6	7,2	16	1,90
<i>Mistura</i>	30	30,0	30	0,00
<i>Descarga óleo 2</i>	6	6,9	7	0,33
<i>Mistura</i>	180	180,0	180	0,00
<i>Aguarda esvaziamento da moega inferior</i>	22	74,3	210	41,53
<i>Descarga granulado misturador</i>	5	5,0	5	0,00
<b>Tempo TOTAL sem folga (s)</b>		<b>661,0</b>		

Uma análise aos tempos apresentados na Tabela 30 identificou uma etapa do processo de mistura cuja variabilidade é elevada. Esta fase é o período no qual a mistura está pronta e aguarda o esvaziamento da moega inferior. Este tempo representa uma folga, que não existiria se a moldadora consumisse o granulado mais depressa, ou seja, poderia ser possível o aumento da cadência da máquina, sacrificando apenas este tempo de folga. No entanto, a folga existente também atua como segurança. Reduzindo esse tempo e aumentando a cadência da máquina poderia aumentar também o risco da folga restante não ser suficiente caso o misturador se atrasasse, o que iria causar a paragem completa da moldadora por falta de

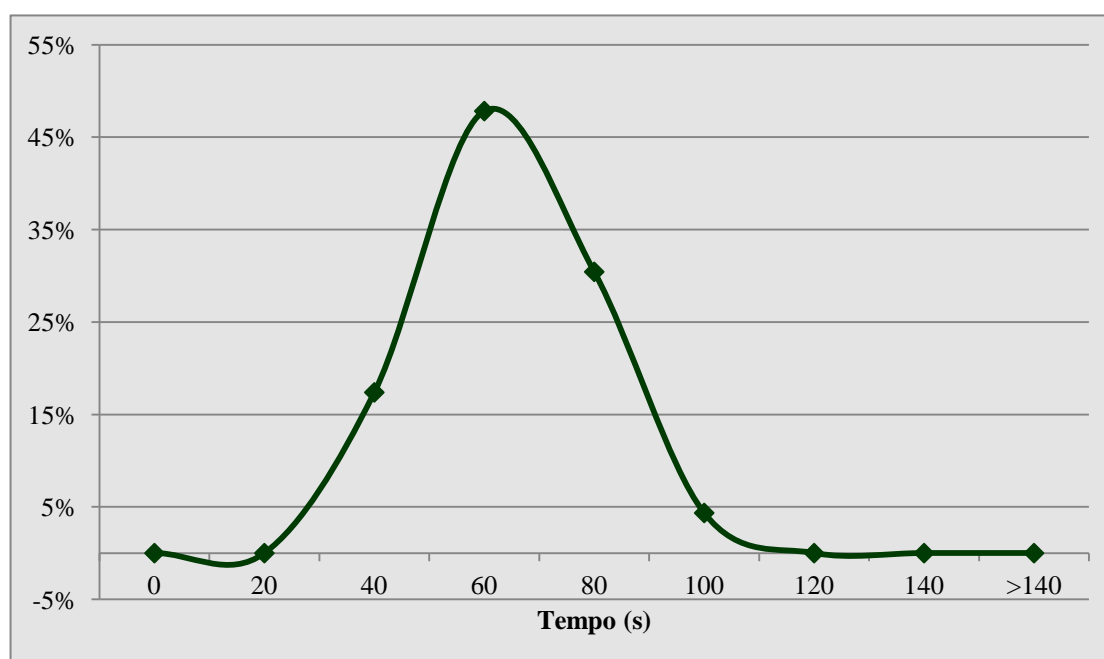
granulado. Desta forma, qualquer possível alteração ao ciclo de moldação teria de ser cuidadosamente verificada no processo.

A alteração sugerida para o aumento de produtividade da máquina consistiu em aumentar a massa de granulado em 6,25%, mantendo o tempo de consumo da mistura completa igual. Este aumento de massa implicaria um aumento do tempo de certas operações:

- Descarga de granulado – Aumento de 6,25%
- Descarga de cola e óleos – Aumento de 6,25%

Todas as outras operações manteriam o seu tempo. O aumento destas duas operações traduzir-se-ia num aumento total de 5 segundos no ciclo de mistura. No entanto, uma vez que se pretendia que o tempo total de mistura fosse o mesmo, os 5 segundos a mais seriam retirados ao tempo de folga. Por uma questão de processo a folga deverá ser sempre superior a 10 segundos, de forma a não arriscar a paragem da moldadora.

Aos tempos medidos para a folga foi aplicado o teste à normalidade de Shapiro-Wilk, do qual se concluiu com um valor de prova P de 87% que não existe evidência estatística de suporte à rejeição da hipótese da normalidade da população em estudo. No Gráfico 10 foi representado o histograma dos tempos medidos para a folga:



**Gráfico 10** - Histograma dos tempos medidos para a folga

De seguida foi determinada a probabilidade de o tempo de folga ser igual ou inferior a 10 segundos, utilizando a função de distribuição Normal. Considerando X como o tempo operacional:

$$P(X \leq 10s) = 0.15\%$$

Esta probabilidade representa um risco reduzido de paragem da moldadora 6, significando que, a cada 10000 ciclos, 15 poderão apresentar tempos inferiores a 10 segundos. A fase seguinte do estudo passou pela análise da segunda parte do processo: a prensagem. A moldadora possui tabuleiros transportados por corrente, sendo que cada tabuleiro tem moldes

para 20 corpos. A mistura proveniente da moega inferior do misturador é prensada nos moldes, os tabuleiros são encerrados e transportados para a estufa. O processo de prensagem leva 4,42 segundos por tabuleiro, sendo que a moldadora necessita de 726 segundos para consumir toda a mistura proveniente do misturador. Assim, pretendendo-se manter este tempo total mas aumentando a quantidade de granulado na mistura em 6.25%, foi apresentada a proposta da Tabela 31:

**Tabela 31** - Proposta de aumento de cadência da Moldadora 6

	Antes	Proposta	Diferença
<b>Tempo de consumo da mistura completa (s)</b>	725,65	725,65	-
<b>Tempo de ciclo de prensagem (s)</b>	4,42	4,16	-5,88%
<b>Nº Tabuleiros/hora</b>	814	865	6,25%
<b>Nº Rolhas/hora</b>	16290	17308	6,25%
<b>Nº Rolhas/mistura</b>	3283	3489	6,25%

## Conclusões

Após a análise da Tabela 31 foi possível concluir que, para o aumento do consumo massa de granulado pretendido seria necessário reduzir o tempo de ciclo de prensagem de 4,42 para 4,16 segundos para manter o tempo de consumo da mistura completa igual (726 segundos). Com esta redução verificou-se um aumento de produtividade da máquina de 6,25%, o que corresponde a uma produção de mais 1018 rolhas por hora relativamente ao ciclo atual. No entanto, ao reduzir o tempo do ciclo de prensagem a qualidade da mesma poderá diminuir, produzindo rolhas mal prensadas. Com o aumento da cadência produtiva aumenta a velocidade da corrente de transporte dos tabuleiros, pelo que o tempo que os corpos permanecem na estufa será reduzido de 60 para 58 minutos. Por este motivo foi necessário analisar cuidadosamente as características dos corpos à saída da moldação. Concluiu-se que a redução destes tempos era desprezável.

## **4. Resultados Globais Obtidos**

---

### **4.1. Setor do Tratamento Superficial**

---

No setor do tratamento superficial o objetivo proposto inicialmente foi cumprido, uma vez que foram determinados com sucesso quais os principais fatores que têm influência nas forças de compressão medidas. De todos os fatores analisados, os que demonstraram ter um impacto estatisticamente significativo na variável de resposta foram:

1. Massa das rolhas;
2. Temperatura ambiente;
3. Humidade relativa ambiente;
4. Percentagem de cola introduzida no processo de moldação;
5. Tempo de estabilização após tratamento superficial;

O conhecimento destes fatores permite atuar em conformidade com o objetivo de os controlar, o que permitirá a redução da variabilidade das forças de inserção. A uniformidade do produto final e a consistência das suas propriedades poderá ser garantida maioritariamente através do controlo das condições ambiente. O desenvolvimento de modelos de regressão para a força de inserção foi um passo importante neste sentido, conseguindo-se uma redução, em média, de 34% no intervalo de especificação, para cada calibre. Após implementação estes novos intervalos requerem validação prática no processo, que deverá ser realizada no futuro próximo de forma continuada para validar os limites definidos para cada gama de temperaturas e humidades.

### **4.2. Setor da Moldação**

---

O principal objetivo do trabalho realizado neste setor era o de estudar a influência da heterogeneidade da matéria-prima nas propriedades das rolhas, em particular na sua massa. Antes de ser iniciado este projeto verificava-se uma grande variabilidade nesta característica, derivada à falta de controlo na mistura dos diferentes tipos de aparas. No entanto, o acompanhamento diário da trituração de matéria-prima, em conjunto com o cálculo diário dos índices de capacidade do processo, permitiu determinar qual a mistura de matéria-prima que produzia os melhores resultados em termos de controlo de processo. Foi conseguida uma redução de 76% da variabilidade do consumo de granulado, o que potenciou um aumento em média de 10% dos índices de capacidade do processo, verificando-se então que os valores observados para as massas das rolhas se encontravam mais centrados dentro do intervalo de especificação e a sua variabilidade também era mais reduzida.

Também no setor da moldação foi realizado um estudo de influência da percentagem de cola introduzida no processo de mistura. Parte deste estudo foi realizado também no setor do tratamento superficial, onde foram analisadas as forças de inserção para cada grupo definido. Daqui concluiu-se que é importante o controlo das quantidades de cola e da massa de granulado introduzidas na mistura, sendo que estas influenciam significativamente o comportamento das rolhas como produto final. Foi encontrada evidência estatística da

influência da percentagem de cola nas forças de inserção e na percentagem de absorção de água.

O estudo final realizado no setor da moldação procurou aumentar a produtividade da moldadora 6, uma vez que foi encontrada uma folga significativa no tempo de mistura. Desta forma procurou-se aumentar a quantidade de granulado consumido pela máquina, mantendo inalterado o tempo total que esta demora a consumir a mistura. Com isto foi conseguido um aumento de produtividade de 6.25%, que corresponde a uma diferença de 1000 corpos produzidos por hora. Este aumento de cadência da máquina apresenta desvantagens, uma vez que a folga existente entre as duas fases do processo diminui e o tempo que os corpos ficam dentro da estufa foi reduzido de 60 para 58 minutos, o que poderá alterar as características finais do produto.



## 5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

---

O projeto realizado focou-se, desde a sua fase inicial, no processo, nomeadamente no seu estudo e controlo. A introdução de ferramentas Kaizen no dia-a-dia da Champcork produziu aumentos consideráveis de produtividade e motivação dos colaboradores, o que permitiu à empresa focar-se na melhoria contínua do processo. No setor da Moldação foi essencial o estudo da matéria-prima para ser possível compreender a forma como esta afeta o produto. Com este conhecimento atuou-se no processo, conseguindo-se reduzir a variabilidade da matéria-prima consumida em 76%. Esta redução permitiu estabilizar o valor das propriedades das rolhas, nomeadamente a sua massa, aumentando os índices de capacidade de processo e mantendo-os consistentes ao longo do tempo.

No setor da Moldação é também de realçar o aumento de produtividade de 6.1% conseguido na moldadora 6 através do ajuste da massa de granulado consumido e otimização do tempo de ciclo. Apesar das melhorias apresentadas, existe sempre margem para melhoria.

Relativamente ao futuro, seria importante continuar o estudo dos fatores com influência significativa nas características finais do produto, para esclarecer algumas dúvidas que se mantêm após a utilização dos modelos de regressão. Seria interessante adotar uma metodologia de Desenho de Experiências, com vista a minimizar o número de ensaios a realizar, reduzindo também os custos deste tipo de estudo.

O acompanhamento do *mix* de aparas consumido no setor da moldação, bem como das massas dos corpos é essencial na deteção imediata de eventuais anomalias ou padrões na variabilidade das massas. Neste aspeto seria importante ter uma folha de cálculo que diariamente registasse todos os valores de massa medidos e determinasse os valores de  $C_p$  e  $C_{p_k}$ , com vista a facilitar o acompanhamento referido.

É necessário salientar a importância do *Kaizen* Diário no controlo do processo. Seria interessante incluir nos quadros já existentes alguma informação complementar relativa às especificações do produto, nomeadamente às forças de inserção medidas no setor do tratamento, transmitindo esta informação a todos, numa perspetiva de todo o setor saber quando algo está errado, para se poder atuar da melhor forma. No setor da Moldação seria interessante apresentar a informação relativa ao *mix* de aparas, indicando as percentagens de cada tipo de apara. Desta forma, caso surgisse uma anomalia nas propriedades do produto, os próprios colaboradores poderiam analisar o *mix*, eventualmente identificando-o como possível causa da anomalia.

## Referências Bibliográficas

---

- Batista, Luís. *Estabilidade operacional assegurada por metodologias Kaizen Lean na AI, SA - UI CHK*. Master's Thesis, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- Cabral, José A. Sarsfield, e Rui Campos Guimarães. *Estatística*. Porto: McGraw-Hill, 1997.
- Coelho-Barros, Emílio Augusto, Priscila Angelotti Simões, Jorge Alberto Achcar, Edson Zangiacomi Martinez, e Antonio Carlos Shimano. “Métodos de estimação em regressão linear.” *Revista Colombiana de Estadística*, 2008: 111-129.
- Correia, António Gomes, Alfredo Norace Marques, e Younes Benatia. “Quality Management System in Road Construction.” 2002.
- Corticeira Amorim. “Relatório de Contas.” 2013. <http://www.amorim.com/investidores/relatorio-e-contas/>.
- Dennis, P. *Lean Production Simplified: A Plain Language Guide to the World's Most Powerful Production System*. Taylor & Francis Group, 2007.
- Imai, Masaaki. *Gemba kaizen: a common sense low-cost approach to management*. New York: McGraw-Hill, 1997.
- Juran, e Gryna. *Quality Planning and Analysis*. McGraw-Hill, 1980.
- “Kaizen.” s.d. <http://www.significados.com.br/kaizen/> (acedido em 03 de abril de 2014).
- Lucas. “Análise de Variância.” s.d. <http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/lucas/material/ANOVA%20Formato%20Aluno.pdf> (acedido em 03 de abril de 2014).
- “Manual de Acolhimento.” editado por Amorim & Irmãos, 2014.
- Marques, Manuel Pina, e Armando Leitão. “Factorial Experimentation.” 2013.
- Pereira, Flávio. *Análise e Otimização do Processo de Moldação*. Master's Thesis, Porto: ESEIG, 2013.
- Portal Action. *Portal Action - Teste de Kolmogorov Smirnov*. 2011. <http://www.portalaction.com.br/content/62-teste-de-kolmogorov-smirnov> (acedido em 20 de maio de 2014).
- Sassi, Cecilia P., Felipe G. Perez, Leticia Myazato, Xiao Ye, Paulo H. Ferreira Silva, e Francisco Louzada. “Modelos de Regressão Linear Múltipla.” 2011. [http://www.icmc.usp.br/CMS/Arquivos/arquivos\\_enviados/BIBLIOTECA\\_113\\_RT\\_377.pdf](http://www.icmc.usp.br/CMS/Arquivos/arquivos_enviados/BIBLIOTECA_113_RT_377.pdf) (acedido em 22 de abril de 2014).
- Statistics, Real. *The Shapiro-Wilk Test*. 2014. <http://www.real-statistics.com/statistics-tables/shapiro-wilk-table/> (acedido em 30 de abril de 2014).
- Stephenson, Steve. *What Is Kaizen?* 2013. <http://www.graphicproducts.com/tutorials/kaizen/#ixzz2xpZIH6CP> (acedido em 03 de abril de 2014).
- Urbance, Randy. “Review - The Machine That Changed The World .” *MIT*. s.d. <http://web.mit.edu/esd.83/www/notebook/machine.pdf> (acedido em 03 de abril de 2014).

Womack, James P., Daniel T. Jones, e Daniel Roos. *The Machine That Changed The World*. New York: 1st HarperPerennial ed., 1991.

## Anexos

### Anexo A – Tabelas Auxiliares do Teste de Shapiro-Wilk

**Tabela 32 - Coeficientes de Shapiro Wilk por dimensão da amostra**

n =	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
a1	0.7071	0.7071	0.6872	0.6646	0.6431	0.6233	0.6052	0.5888	0.5739	0.5601	0.5475	0.5359	0.5251
a2			0.1677	0.2413	0.2806	0.3031	0.3164	0.3244	0.3291	0.3315	0.3325	0.3325	0.3318
a3					0.0875	0.1401	0.1743	0.1976	0.2141	0.2260	0.2347	0.2412	0.2460
a4							0.0561	0.0947	0.1224	0.1429	0.1586	0.1707	0.1802
a5									0.0399	0.0695	0.0922	0.1099	0.1240
a6											0.0303	0.0539	0.0727
a7													0.0240

n =	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
a1	0.5150	0.5056	0.4968	0.4886	0.4808	0.4734	0.4643	0.4590	0.4542	0.4493	0.4450	0.4407
a2	0.3306	0.3290	0.3273	0.3253	0.3232	0.3211	0.3185	0.3156	0.3126	0.3098	0.3069	0.3043
a3	0.2495	0.2521	0.2540	0.2553	0.2561	0.2565	0.2578	0.2571	0.2563	0.2554	0.2543	0.2533
a4	0.1878	0.1939	0.1988	0.2027	0.2059	0.2085	0.2119	0.2131	0.2139	0.2145	0.2148	0.2151
a5	0.1353	0.1447	0.1524	0.1587	0.1641	0.1686	0.1736	0.1764	0.1787	0.1807	0.1822	0.1836
a6	0.0880	0.1005	0.1109	0.1197	0.1271	0.1334	0.1399	0.1443	0.1480	0.1512	0.1539	0.1563
a7	0.0433	0.0593	0.0725	0.0837	0.0932	0.1013	0.1092	0.1150	0.1201	0.1245	0.1283	0.1316
a8		0.0196	0.0359	0.0496	0.0612	0.0711	0.0804	0.0878	0.0941	0.0997	0.1046	0.1089
a9				0.0163	0.0303	0.0422	0.0530	0.0618	0.0696	0.0764	0.0823	0.0876
a10						0.0140	0.0263	0.0368	0.0459	0.0539	0.0610	0.0672
a11								0.0122	0.0228	0.0321	0.0403	0.0476
a12									0.0000	0.0107	0.0200	0.0284
a13											0.0000	0.0094

n =	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
a1	0.5150	0.5056	0.4968	0.4886	0.4808	0.4734	0.4643	0.4590	0.4542	0.4493	0.4450	0.4407
a2	0.3306	0.3290	0.3273	0.3253	0.3232	0.3211	0.3185	0.3156	0.3126	0.3098	0.3069	0.3043
a3	0.2495	0.2521	0.2540	0.2553	0.2561	0.2565	0.2578	0.2571	0.2563	0.2554	0.2543	0.2533
a4	0.1878	0.1939	0.1988	0.2027	0.2059	0.2085	0.2119	0.2131	0.2139	0.2145	0.2148	0.2151
a5	0.1353	0.1447	0.1524	0.1587	0.1641	0.1686	0.1736	0.1764	0.1787	0.1807	0.1822	0.1836
a6	0.0880	0.1005	0.1109	0.1197	0.1271	0.1334	0.1399	0.1443	0.1480	0.1512	0.1539	0.1563
a7	0.0433	0.0593	0.0725	0.0837	0.0932	0.1013	0.1092	0.1150	0.1201	0.1245	0.1283	0.1316
a8		0.0196	0.0359	0.0496	0.0612	0.0711	0.0804	0.0878	0.0941	0.0997	0.1046	0.1089
a9				0.0163	0.0303	0.0422	0.0530	0.0618	0.0696	0.0764	0.0823	0.0876
a10						0.0140	0.0263	0.0368	0.0459	0.0539	0.0610	0.0672
a11								0.0122	0.0228	0.0321	0.0403	0.0476
a12									0.0000	0.0107	0.0200	0.0284
a13											0.0000	0.0094

Tabela 33 - Valor de prova de acordo com estatística de teste e dimensão da amostra

n \ P	0.01	0.02	0.05	0.1	0.5	0.9	0.95	0.98	0.99
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959	0.998	0.999	1.000	1.000
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	0.987	0.992	0.996	0.997
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	0.979	0.986	0.991	0.993
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	0.974	0.981	0.986	0.989
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928	0.972	0.979	0.985	0.988
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	0.972	0.978	0.984	0.987
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935	0.972	0.978	0.984	0.986
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	0.972	0.978	0.983	0.986
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	0.973	0.979	0.984	0.986
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	0.973	0.979	0.984	0.986
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	0.974	0.979	0.984	0.986
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947	0.975	0.980	0.984	0.986
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	0.975	0.980	0.984	0.987
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	0.976	0.981	0.985	0.987
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	0.977	0.981	0.985	0.987
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	0.978	0.982	0.986	0.988
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957	0.978	0.982	0.986	0.988
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959	0.979	0.983	0.986	0.988
21	0.873	0.888	0.908	0.923	0.960	0.980	0.983	0.987	0.989
22	0.878	0.892	0.911	0.926	0.961	0.980	0.984	0.987	0.989
23	0.881	0.895	0.914	0.928	0.962	0.981	0.984	0.987	0.989
24	0.884	0.898	0.916	0.930	0.963	0.981	0.984	0.987	0.989
25	0.888	0.901	0.918	0.931	0.964	0.981	0.985	0.988	0.989
26	0.891	0.904	0.920	0.933	0.965	0.982	0.985	0.988	0.989
27	0.894	0.906	0.923	0.935	0.965	0.982	0.985	0.988	0.990
28	0.896	0.908	0.924	0.936	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
29	0.898	0.910	0.926	0.937	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
30	0.900	0.912	0.927	0.939	0.967	0.983	0.985	0.988	0.990
31	0.902	0.914	0.929	0.940	0.967	0.983	0.986	0.988	0.990
32	0.904	0.915	0.930	0.941	0.968	0.983	0.986	0.988	0.990
33	0.906	0.917	0.931	0.942	0.968	0.983	0.986	0.989	0.990
34	0.908	0.919	0.933	0.943	0.969	0.983	0.986	0.989	0.990
35	0.910	0.920	0.934	0.944	0.969	0.984	0.986	0.989	0.990
36	0.912	0.922	0.935	0.945	0.970	0.984	0.986	0.989	0.990
37	0.914	0.924	0.936	0.946	0.970	0.984	0.987	0.989	0.990
38	0.916	0.925	0.938	0.947	0.971	0.984	0.987	0.989	0.990
39	0.917	0.927	0.939	0.948	0.971	0.984	0.987	0.989	0.991
40	0.919	0.928	0.940	0.949	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
41	0.920	0.929	0.941	0.950	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
42	0.922	0.930	0.942	0.951	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
43	0.923	0.932	0.943	0.951	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
44	0.924	0.933	0.944	0.952	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
45	0.926	0.934	0.945	0.953	0.973	0.985	0.988	0.990	0.991
46	0.927	0.935	0.945	0.953	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
47	0.928	0.936	0.946	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
48	0.929	0.937	0.947	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
49	0.929	0.939	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
50	0.930	0.938	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991

## Anexo B – Método dos Mínimos Quadrados na determinação dos parâmetros de um Modelo de Regressão Linear Múltipla

O método dos mínimos quadrados (MMQ) pode ser utilizado para estimar os coeficientes de regressão. Suponha-se que  $n > k$  observações são avaliadas, em que  $k$  é o número de covariáveis, e seja  $y_i$  a  $i$ -ésima variável resposta observada e  $x_{ij}$  a  $i$ -ésima observação da  $j$ -ésima variável independente ( $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, k$ ). Assume-se que os erros  $\varepsilon_i$  são independentes e seguem distribuição normal com média igual a zero e variância  $\sigma^2$ .

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

A função de mínimos quadrados é dada por:

$$S(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij})^2$$

A função  $S$  deve ser minimizada. Os estimadores dos mínimos quadrados (EMQ) devem satisfazer:

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta} \right|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij}) = 0$$

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta} \right|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_j x_{ij}) x_{ij} = 0, j = 1, 2, \dots, k$$

Das equações acima obtém-se as equações de mínimos quadrados:

$$n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ik} = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_{i1} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik} = \sum_{i=1}^n x_{i1}y_i$$

$$\hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_{ik} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 = \sum_{i=1}^n x_{ik}y_i$$

É possível notar que há  $p=k+1$  equações, uma para cada coeficiente de regressão. Logo, as soluções dessas equações serão os EMQ para os parâmetros do modelo. Escrevendo a equação do modelo de regressão linear múltipla na forma matricial, obtém-se:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

Em que:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Tem-se interesse em encontrar o vetor de EMQ  $\hat{\beta}$ , no qual minimiza:

$$\begin{aligned} S(\beta) &= \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \varepsilon' \varepsilon = (y - X\beta)'(y - X\beta) \\ &= y'y - \beta'X'y - y'X\beta + \beta'X'X\beta \\ &= y'y - 2\beta'X'y + \beta'X'X\beta \end{aligned}$$

Os EMQ devem satisfazer,

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta} \right|_{\hat{\beta}} = -2X'y + 2X'X\hat{\beta} = 0$$

Logo,

$$X'X\hat{\beta} = X_y'$$

O EMQ de  $\beta$  é dado por:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X_y'$$

assumindo que  $(X'X)^{-1}$  existe (Coelho-Barros, et al. 2008).

### Anexo C – Exemplo de Tabela ANOVA para Modelo de Regressão Linear Múltipla

As Tabelas 34, 35 e 36 representam exemplos das tabelas resultantes da aplicação de um modelo de regressão linear múltipla.

**Tabela 34** - Estatística de Regressão

<i>Estatística de regressão</i>	
<b>R múltiplo</b>	0,79
<b>R<sup>2</sup></b>	0,63
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,62
<b>Erro-padrão</b>	4,62
<b>Observações</b>	401

**Tabela 35** - Tabela ANOVA para modelo de regressão

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F de significância</b>
<b>Regressão</b>	2	14226,15	7113,07	333,41	8,87671E-86
<b>Residual</b>	398	8490,98	21,33		
<b>Total</b>	400	22717,12			

**Tabela 36** - Coeficientes do modelo de regressão

	<b>Coeficientes</b>	<b>Erro-padrão</b>	<b>Stat t</b>	<b>valor P</b>	<b>95% inferior</b>	<b>95% superior</b>	<b>Inferior 95,0%</b>	<b>Superior 95,0%</b>
<b>Interseção</b>	143,34	1,82	78,81	0,00	139,76	146,91	139,76	146,91
<b>Fator 1</b>	-1,32	0,09	-14,87	0,00	-1,49	-1,14	-1,49	-1,14
<b>Fator 2</b>	-0,27	0,03	-7,75	0,00	-0,34	-0,20	-0,34	-0,20



## Anexo D – Ensaios realizados no setor do tratamento superficial – Resultados

**Estudo da influência da quantidade de rolhas a tratar no mesmo tambor**

Do teste de Shapiro-Wilk aplicado aos dados obtidos neste ensaio resultaram as Tabelas 37, 38 e 39. O teste apenas foi aplicado a uma das amostras. Uma vez que os resultados do ensaio servirá apenas como indicação da melhor forma de atuar no processo, não se revelou relevante testar todas as populações quanto à normalidade, tendo sido assumido que se uma população segue uma distribuição Normal, as outras populações em teste também. Embora a normalidade seja um requisito da aplicação do teste à diferença entre valores esperados, o erro possivelmente introduzido não será significativo em termos de processo industrial.

**Tabela 37 – Coeficientes de Shapiro-Wilk**

Observações	20
<b>Coeficientes de Shapiro-Wilk para N=20</b>	
a1	0,4734
a2	0,3211
a3	0,2565
a4	0,2085
a5	0,1686
a6	0,1334
a7	0,1013
a8	0,0711
a9	0,0422
a10	0,0140

**Tabela 38 – Cálculo das diferenças**

$\Delta x$	$a_i * \Delta x$
$X_{20}-X_1$	17,20
$X_{19}-X_2$	11,50
$X_{18}-X_3$	7,00
$X_{17}-X_4$	6,30
$X_{16}-X_5$	6,10
$X_{15}-X_6$	3,10
$X_{14}-X_7$	1,90
$X_{13}-X_8$	1,20
$X_{12}-X_9$	0,90
$X_{11}-X_{10}$	0,50
<b>Soma (b)</b>	<b>16,71</b>

**Tabela 39 - Resultados do teste de Shapiro-Wilk**

<b>Ensaio em T<sub>0</sub> (18000)</b>	
<b>Soma de Quadrados</b>	288,46
<b>b</b>	16,71
<b>W</b>	0,97
<b>Valor P</b>	67,75%
<b>Nível de Significância</b>	5%
<b>Evidência contra H<sub>0</sub></b>	Não

## Estudo da influência do braço de introdução do tratamento nas forças de inserção

As Tabelas de 40 a 45 representam os resultados da aplicação da ANOVA e do Teste de Scheffé nos três instantes do ensaio:

**Tabela 40** - ANOVA para o instante  $T_0$

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	247,61	2	123,81	10,67	0,01%	3,16
Dentro de grupos	661,53	57	11,61			
Total	909,14	59				

**Tabela 41** - ANOVA para o instante  $T_7$

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre Grupos	303,93	2	151,97	3,93	2,53%	3,16
Dentro de Grupos	2206,64	57	38,71			
Total	2510,57	59				

**Tabela 42** - ANOVA para o instante  $T_{30}$

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre Grupos	418,21	2	209,11	3,70	3.09%	3,16
Dentro de Grupos	3223,21	57	56,55			
Total	3641,42	59				

**Tabela 43** - Método de Scheffé para o instante  $T_0$

Grupos	xi-xj	Limite Inferior e Superior	Valor zero excluído?
Fixo 1 vs Móvel	1.55	-1,16;4,26	Não
Fixo 1 vs Fixo 2	3.32	0,61;6,03	Sim
Móvel vs Fixo 2	4.87	2,16;7,28	Sim

**Tabela 44** - Método de Scheffé para o instante  $T_7$

Grupos	xi-xj	Limite Inferior e Superior	Valor zero excluído?
Fixo 1 vs Móvel	3.68	-1,27;8,62	Não
Fixo 1 vs Fixo 2	5.395	0,45;10,34	Sim
Móvel vs Fixo 2	1.715	-3,23;6,60	Não

**Tabela 45** - Método de Scheffé para o instante  $T_{30}$ 

Grupos	$\bar{x}_i - \bar{x}_j$	Limite Inferior e Superior	Valor zero excluído?
<b>Fixo 1 vs Móvel</b>	1.535	-3,43;6,50	Não
<b>Fixo 1 vs Fixo 2</b>	4.905	-0,06;9,87	Não
<b>Móvel vs Fixo 2</b>	3.37	-1,59;8,34	Não

Do teste de Bartlett:

$$\chi^2_2(5\%) = 5.99$$

$$T_0 \rightarrow X^2 = 1.77 < \chi^2_2(5\%), \text{ com valor de prova } P = 41.12\%$$

$$T_7 \rightarrow X^2 = 2.39 < \chi^2_2(5\%), \text{ com valor de prova } P = 30.15\%$$

$$T_{30} \rightarrow X^2 = 1.69 < \chi^2_2(5\%), \text{ com valor de prova } P = 42.82\%$$

Do teste de Shapiro-Wilk aplicado ao ensaio no instante  $T_0$ , resultaram as Tabelas 46 e 47:

**Tabela 46** – Determinação de b

$\Delta x$	$a_i * \Delta x$
<b>X<sub>20</sub>-X<sub>1</sub></b>	9,70
<b>X<sub>19</sub>-X<sub>2</sub></b>	7,90
<b>X<sub>18</sub>-X<sub>3</sub></b>	7,20
<b>X<sub>17</sub>-X<sub>4</sub></b>	5,20
<b>X<sub>16</sub>-X<sub>5</sub></b>	4,60
<b>X<sub>15</sub>-X<sub>6</sub></b>	3,30
<b>X<sub>14</sub>-X<sub>7</sub></b>	2,60
<b>X<sub>13</sub>-X<sub>8</sub></b>	1,80
<b>X<sub>12</sub>-X<sub>9</sub></b>	1,10
<b>X<sub>11</sub>-X<sub>10</sub></b>	0,20
<b>Soma (b)</b>	<b>11.72</b>

**Tabela 47** – Resultados do teste de Shapiro-Wilk

<b>Ensaio em <math>T_0</math> (Braço Móvel)</b>	
<b>Soma de Quadrados</b>	141.32
<b>b</b>	11.72
<b>W</b>	0.97
<b>Valor P</b>	74.73%
<b>Nível de Significância</b>	5%
<b>Evidência contra <math>H_0</math></b>	Não

## Estudo da influência do tempo de estabilização após tratamento nas forças de inserção

As Tabelas de 48 a 51 representam os resultados da aplicação da ANOVA e do Teste de Scheffé nos dois instantes do ensaio:

**Tabela 48** - ANOVA para o instante  $T_7$

Fonte de Variação	SQ	df	MQ	F	Valor P	F crit
Entre Grupos	9853,71	3	3284,57	117,66	1,75E-28	2,73
Dentro de Grupos	2121,51	76	27,91			
Total	11975,23	79				

**Tabela 49** - ANOVA para o instante  $T_{30}$

Fonte de Variação	SQ	df	MQ	F	Valor P	F crit
Entre Grupos	2155,01	3	718,33	36,06	1,34E-14	2,72
Dentro de Grupos	1513,94	76	19,920			
Total	3668,95	79				

**Tabela 50** - Método de Scheffé para o instante  $T_7$

Grupos	$\bar{x}_i - \bar{x}_j$	Limite Inferior e Superior	Valor zero excluído?
0H vs 6H	1,10	-2,81;4,99	Não
0H-24H	2,28	-1,63;6,18	Não
0H-72H	4,91	1,00;8,88	Sim
6H-24H	1,18	-2,72;5,08	Não
6H-72H	2,63	-1,27;6,53	Não
24H-72H	3,81	-0,09;7,71	Não

**Tabela 51** - Método de Scheffé para o instante  $T_{30}$

Grupos	$\bar{x}_i - \bar{x}_j$	Limite Inferior e Superior	Valor zero excluído?
0H-6H	0,145	-3,15;3,44	Não
0H-24H	6,93	3,64;10,23	Sim
0H-72H	12,265	8,97;15,56	Sim
6H-24H	7,075	3,78;10,37	Sim
6H-72H	5,335	2,04;8,63	Sim
24H-72H	12,41	9,12;15,71	Sim

Da análise da Tabela 50 foi possível concluir que ao fim de 7 dias ( $T_7$ ) apenas existia diferença entre os grupos que estabilizaram 0 e 72 horas.

Do teste de Bartlett:

$$\chi^2_2(5\%) = 5.99$$

$$T_0 \rightarrow X^2 = 1.25 < \chi^2_2(5\%), \text{ com valor de prova } P = 46.21\%$$

$$T_7 \rightarrow X^2 = 2.42 < \chi^2_2(5\%), \text{ com valor de prova } P = 30.08\%$$

$$T_{30} \rightarrow X^2 = 0.88 < \chi^2_2(5\%), \text{ com valor de prova } P = 56.41\%$$

Do teste de Shapiro-Wilk aplicado ao ensaio no instante  $T_0$ , resultaram as Tabelas 52 e 53:

**Tabela 52** - Determinação do coeficiente b

	$\Delta x$	$a_i * \Delta x$
$X_{20}-X_1$	36,20	17,14
$X_{19}-X_2$	18,90	6,07
$X_{18}-X_3$	14,20	3,64
$X_{17}-X_4$	11,70	2,44
$X_{16}-X_5$	11,00	1,85
$X_{15}-X_6$	8,80	1,17
$X_{14}-X_7$	6,80	0,69
$X_{13}-X_8$	6,00	0,43
$X_{12}-X_9$	2,40	0,10
$X_{11}-X_{10}$	0,40	0,01
<b>Soma (b)</b>		<b>33.54</b>

**Tabela 53** - Resultados do teste de Shapiro-Wilk

<b>Ensaio em <math>T_0</math> (0 horas)</b>	
<b>Soma de Quadrados</b>	1159.94
<b>b</b>	33.54
<b>W</b>	0,97
<b>Valor P</b>	71.46%
<b>Nível de Significância</b>	5%
<b>Evidência contra <math>H_0</math></b>	Não

## Anexo E – Dados auxiliares dos Modelos de Regressão Linear Múltipla

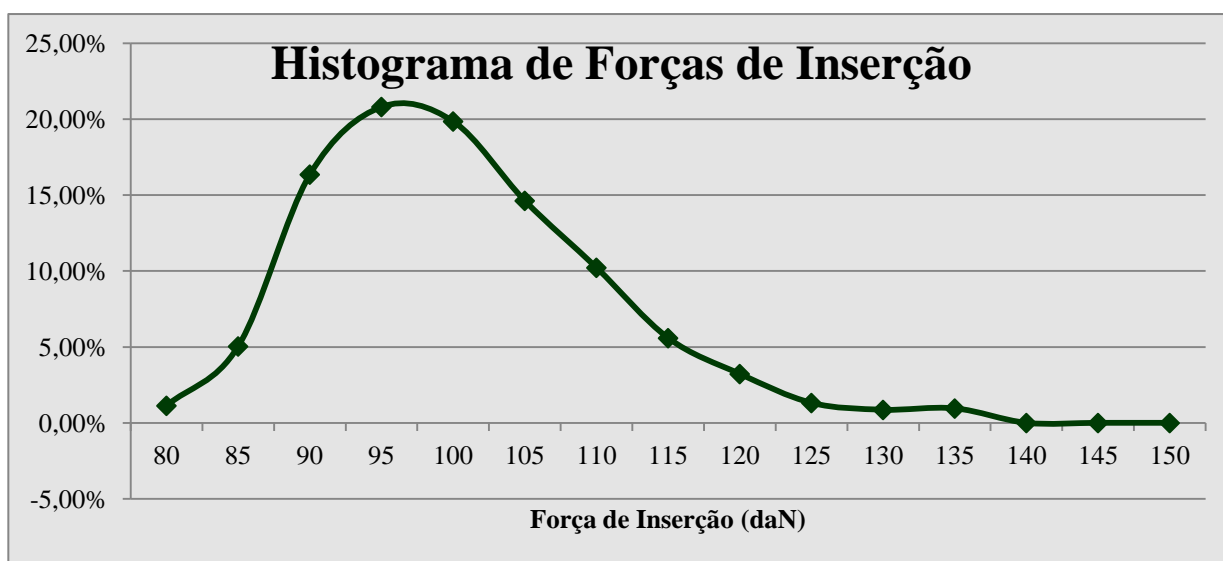
### Calibre 47x29.5

De seguida foram representadas todas as tabelas auxiliares ao desenvolvimento do modelo de regressão para este calibre.

**Tabela 54** - Estatística descritiva para os modelos de regressão a desenvolver

#### Estatística Descritiva

	F. Inserção (daN)	F. Compressão (daN)	Temperatura (°C)	Humidade (%)
Máximo	135	1496,7	25	80
Mínimo	69,5	800,3	11	40
Média	98,1	1013,4	17,5	62,4
Desvio-Padrão	10,1	130,7	3,4	9,1
Nº de Observações	2201			



**Gráfico 11** - Histograma de Forças de Inserção para o calibre 47x29.5

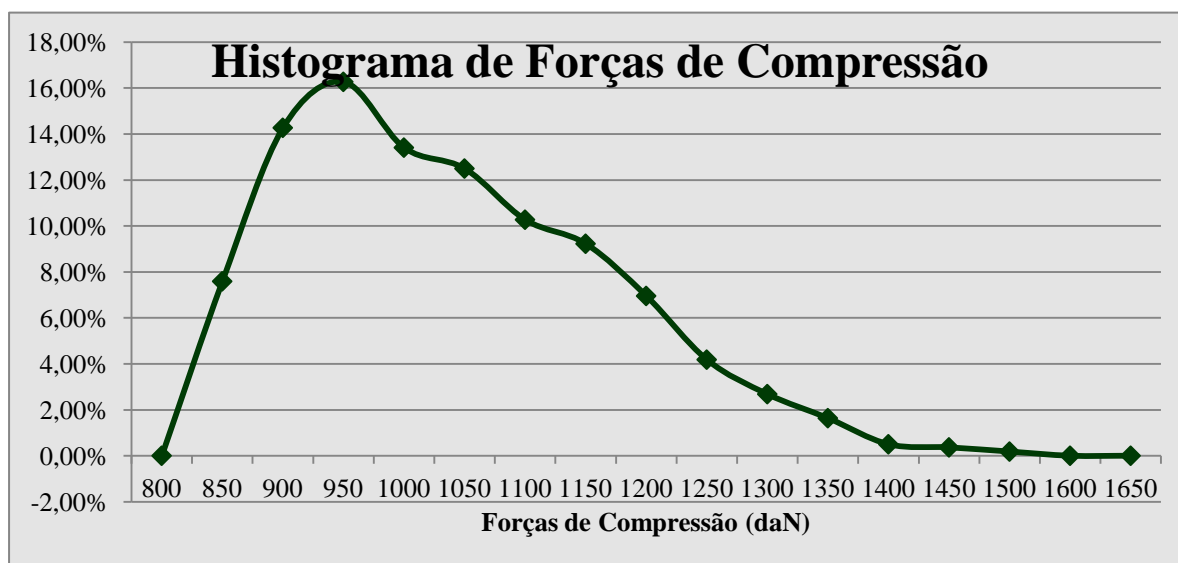


Gráfico 12 - Histograma das Forças de Compressão para o calibre 47x29.5

Tabela 55 - Estatística do modelo

<b>R múltiplo</b>	0,65
<b>R<sup>2</sup></b>	0,42
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,42
<b>Erro-Padrão</b>	7,71
<b>Observações</b>	2201

Tabela 56 - ANOVA para o modelo de regressão com temperatura e humidade

	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>Regressão</b>	2,00	95825,95	47912,97	805,00	0,00
<b>Residuais</b>	2198,00	130822,86	59,52		
<b>Total</b>	2200,00	226648,81			

Tabela 57 - Coeficientes do modelo de regressão para o calibre 47x29.5

	Coeficientes	Erro-Padrão	Stat t	Valor P
<b>Interseção (<math>\alpha</math>)</b>	141,77	1,16	122,40	0,00
<b>Temperatura (<math>\beta_{\text{temperatura}}</math>)</b>	-1,19	0,06	-19,62	0,00
<b>Humidade (<math>\beta_{\text{humidade}}</math>)</b>	-0,37	0,02	-16,26	0,00

**Tabela 58** - Estatística do modelo considerando apenas a temperatura

<b>R múltiplo</b>	0,59
<b>R<sup>2</sup></b>	0,35
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,35
<b>Erro-Padrão</b>	8,16
<b>Observações</b>	2201

**Tabela 59** - ANOVA para o modelo de regressão com a temperatura

	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>Regressão</b>	1	80084,89	80084,89	1201,57	0,00
<b>Residuais</b>	2199	146563,92	66,65		
<b>Total</b>	2200	226648,81			

**Tabela 60** - Coeficientes do modelo considerando a temperatura apenas

	Coeficientes	Erro-Padrão	t stat	Valor P
<b>Interseção (<math>\alpha</math>)</b>	129,26	0.92	141,09	0,00
<b>Temperatura (<math>\beta_{\text{temperatura}}</math>)</b>	-1.78	0.05	-34,66	0,00

De seguida foi estudado o efeito individual da humidade na variável de resposta:

**Tabela 61** - Estatística do modelo considerando apenas a humidade

<b>R múltiplo</b>	0,57
<b>R<sup>2</sup></b>	0,32
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,32
<b>Erro-Padrão</b>	8,36
<b>Observações</b>	2201



**Tabela 62** - ANOVA para o modelo de regressão considerando apenas a humidade

	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>Regressão</b>	1	72911,70	72911,70	1042,90	0,00
<b>Residuais</b>	2199	153737,11	69,91		
<b>Total</b>	2200	226648,81			

**Tabela 63** - Coeficientes do modelo de regressão considerando apenas a humidade

	Coeficientes	Erro-Padrão	t stat	Valor P
<b>Interseção</b>	137,47	1,23	111,52	0,00
<b>Humidade (<math>\beta_{\text{humidade}}</math>)</b>	-0,63	0,02	32,29	0,00

Da análise de ambos os modelos de estudo individual dos fatores concluiu-se que a temperatura produz um efeito mais significativo na força de inserção do que a humidade relativa. Seguiu-se a análise do efeito da humidade considerando que a temperatura se encontrava incluída no modelo. Desta forma foi definida a Tabela 64:

**Tabela 64** - Tabela ANOVA para análise do efeito da humidade com a temperatura já incluída no modelo

ANOVA	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>DR(X1,X2)</b>	2	95825,95	47912,97	805,01	0
<b>DR(Temperatura)</b>	1	80084,89			
<b>DR(Humidade/Temperatura)</b>	1	15741,06	15741,06	264,47	3,06E-56
<b>Residual</b>	2198	130822,86	59,52		
<b>Total</b>	2200	226648,81			

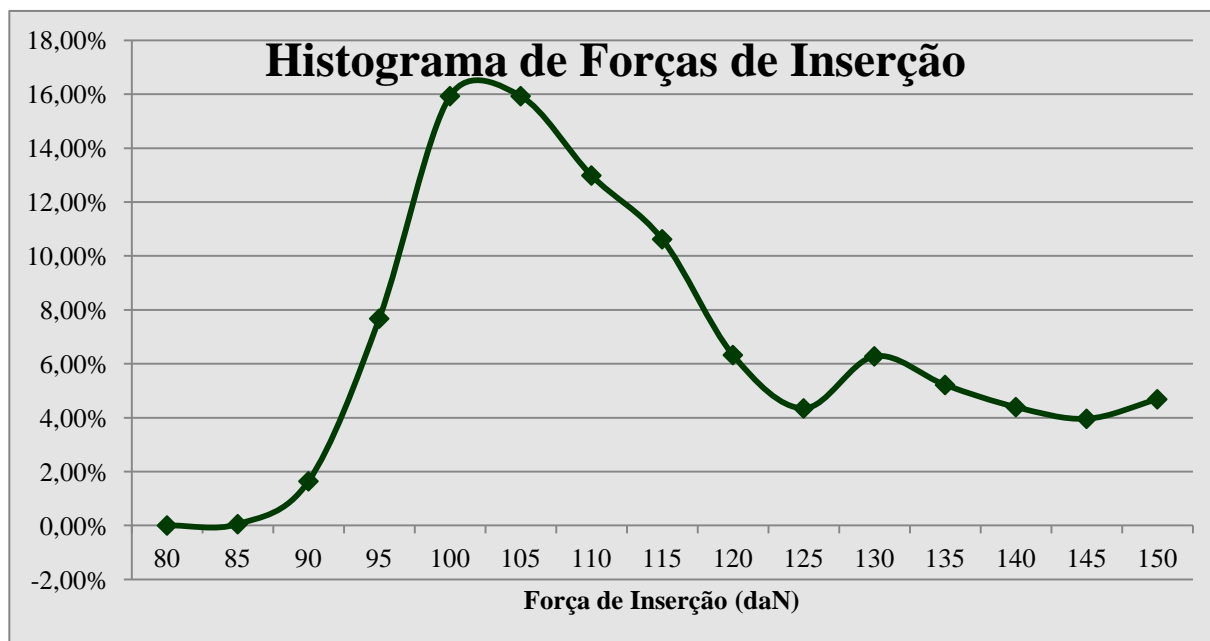
**Calibre 48x31**

De seguida foram representadas todas as tabelas auxiliares ao desenvolvimento do modelo de regressão para este calibre.

**Tabela 65** - Estatística descritiva para os modelos de regressão a desenvolver

**Estatística Descritiva**

	F. Inserção (daN)	F. Compressão (daN)	Temperatura (°C)	Humidade (%)
<b>Máximo</b>	<b>150</b>	<b>1399,9</b>	<b>26</b>	<b>80</b>
<b>Mínimo</b>	<b>82,2</b>	<b>868,7</b>	<b>11</b>	<b>40</b>
<b>Média</b>	<b>112,6</b>	<b>1148,0</b>	<b>19,5</b>	<b>66,3</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>16,0</b>	<b>109,5</b>	<b>2,9</b>	<b>7,9</b>
<b>Nº de Observações</b>	<b>2072</b>			



**Gráfico 13** - Histograma de Forças de Inserção para o calibre 48x31

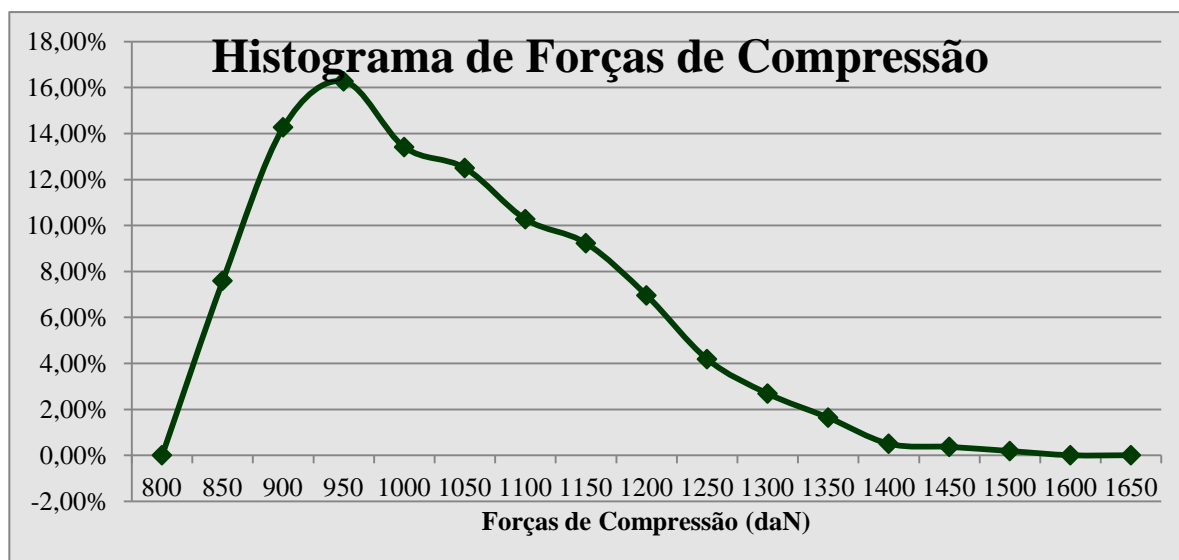


Gráfico 14 - Histograma das Forças de Compressão para o calibre 48x31

Tabela 66 - Estatística do modelo

<b>R múltiplo</b>	0,21
<b>R<sup>2</sup></b>	0,05
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,05
<b>Erro-Padrão</b>	15,68
<b>Observações</b>	2072

Tabela 67 - ANOVA para o modelo de regressão com temperatura e humidade

	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>Regressão</b>	1	19726,04	19726,04	79,56	1,01E18
<b>Residuais</b>	2070	513251,52	247,95		
<b>Total</b>	2071	532977,56			

Tabela 68 - Coeficientes do modelo de regressão para o calibre 48x31

	Coeficientes	Erro-Padrão	Stat t	Valor P
<b>Interseção (<math>\alpha</math>)</b>	141,82	3,06	46,34	0,00
<b>Temperatura (<math>\beta_{\text{temperatura}}</math>)</b>	-0,76	0,14	-5,48	4,58E-08
<b>Humidade (<math>\beta_{\text{humidade}}</math>)</b>	-0,21	0,05	-4,28	1,94E-05

**Tabela 69** - Estatística do modelo considerando apenas a temperatura

<b>R múltiplo</b>	0,19
<b>R<sup>2</sup></b>	0,04
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,04
<b>Erro-Padrão</b>	15,74
<b>Observações</b>	2072

**Tabela 70** - ANOVA para o modelo de regressão com a temperatura

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância F</i>
<b>Regressão</b>	2	24233,21	12116,60	49,28	0,00
<b>Residuais</b>	2069	508744,35	245,89		
<b>Total</b>	2071	532977,56			

**Tabela 71** - Coeficientes do modelo considerando a temperatura apenas

	<b>Coeficientes</b>	<b>Erro-Padrão</b>	<b>t stat</b>	<b>Valor P</b>
<b>Interseção (<math>\alpha</math>)</b>	133,40	2,35	56,67	0,00
<b>Temperatura (<math>\beta_{\text{temperatura}}</math>)</b>	-1,06	0,12	-8,92	1,01E-18

De seguida foi estudado o efeito individual da humidade na variável de resposta:

**Tabela 72** - Estatística do modelo considerando apenas a humidade

<b>R múltiplo</b>	0,18
<b>R<sup>2</sup></b>	0,03
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,03
<b>Erro-Padrão</b>	15,79
<b>Observações</b>	2072

**Tabela 73** - ANOVA para o modelo de regressão considerando apenas a humidade

	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>Regressão</b>	1	16829,25	16829,25	67,49	3,68E-18
<b>Residuais</b>	2070	516148,30	249,35		
<b>Total</b>	2071	532977,55			

**Tabela 74** - Coeficientes do modelo de regressão considerando apenas a humidade

	Coeficientes	Erro-Padrão	t stat	Valor P
<b>Interseção</b>	136,45	2,92	46,73	0
<b>Humidade (<math>\beta_{\text{humidade}}</math>)</b>	-0,36	0,04	-8,21	3,68E-16

Da análise de ambos os modelos de estudo individual dos fatores concluiu-se que a temperatura produz um efeito mais significativo na força de inserção do que a humidade relativa. De seguida foi realizada a análise do efeito da humidade relativa na variável de resposta considerando que a temperatura estava já incluída no modelo. Desta forma foi definida a Tabela 75:

ANOVA	gl	SQ	MQ	F	Significância F
<b>DR(X1,X2)</b>	2	24233,21	12116,60	49,28	0
<b>DR(Temperatura)</b>	1	19726,03			
<b>DR(Humidade/Temperatura)</b>	1	4507,17	4507,17	18,33	1,94E-05
<b>Residual</b>	2069	508744,35	245,89		
<b>Total</b>	2071	532977,56			

**Tabela 75** - Tabela ANOVA para análise do efeito da humidade com a temperatura já incluída no modelo

Daqui concluiu-se que o efeito da humidade relativa na variável de resposta considerando que a temperatura estava incluída no modelo continuava a ser significativo.

## Anexo F – Ensaio de Absorção – Resultados

A estatística descritiva relativa a este ensaio foi representada pela Tabela 76.

**Tabela 76** - Estatística descritiva relativa ao ensaio de absorção

Grupos	Observações	Soma	Média	Variância
Formulação 1	20	3,6617	0,183085	0,000305
Formulação 2	24	4,6847	0,195196	0,000265
Formulação 3	20	3,1975	0,159875	0,000309
Formulação 4	24	4,0155	0,167313	0,000113

Os resultados da aplicação da ANOVA encontram-se representados na Tabela 77.

**Tabela 77** - ANOVA para o ensaio de absorção

Fonte de Variação	SQ	df	MQ	F	Valor P	F crit
Entre Grupos	0,017	3	0,005	23,11	5,23E-12	2,71
Dentro de Grupos	0,02	84	0,0002			
Total	0,04	87				

## Anexo G – Controlo diário das massas dos corpos da Moldação – Dados

Nas Tabelas 78 e 79 foram representados os dados obtidos semanalmente para o  $C_{pk}$  e  $C_p$  de cada moldadora, bem como a estatística descritiva relativa a este acompanhamento. Encontram-se assinalados a verde e vermelho os valores mais altos e baixos, respetivamente.

Tabela 78 - Registo semanal de  $C_{pk}$  por moldadora

$C_{pk}$	Moldadora 1	Moldadora 2	Moldadora 3	Moldadora 4	Moldadora 5	Moldadora 6	Média Semanal
Semana 2	0,68	0,81	0,88	0,81	0,86	0,91	0,83
Semana 3	0,55	0,50	0,87	0,46	0,48	0,57	0,57
Semana 4	0,56	0,73	0,76	0,75	0,76	0,91	0,74
Semana 5	0,81	0,80	0,83	0,75	0,77	0,88	0,81
Semana 6	0,66	0,76	0,82	0,84	0,94	0,67	0,78
Semana 7	0,50	0,79	0,82	0,84	0,74	0,59	0,71
Semana 8	0,79	0,91	0,60	0,52	0,89	0,59	0,72
Semana 9	0,83	0,81	0,92	1,00	1,00	0,80	0,89
Semana 10	0,80	0,73	0,71	0,73	0,72	0,81	0,75
Semana 11	0,84	0,91	0,51	0,70	0,62	0,58	0,69
Semana 12	0,97	0,92	0,90	0,92	0,90	0,91	0,92
Semana 13	0,86	1,10	1,02	0,82	0,93	0,96	0,95
Semana 14	0,73	1,07	0,73	1,08	0,97	1,13	0,95
Semana 15	0,85	1,02	1,01	0,76	0,72	0,96	0,89
Semana 16	0,85	0,87	1,06	0,82	0,80	1,00	0,90
Semana 17	0,78	1,02	1,01	0,71	0,81	1,03	0,89
Semana 18	0,83	1,03	0,77	0,63	0,67	0,96	0,81
Semana 19	0,76	1,21	0,72	0,77	0,54	0,95	0,83
Semana 20	0,64	0,87	0,85	0,64	0,81	0,75	0,76
Semana 21		1,03	0,96	0,77	0,77	0,65	0,84
Máximo	0,97	1,21	1,06	1,08	1,00	1,13	
Médio	0,76	0,89	0,83	0,77	0,78	0,84	
Mínimo	0,50	0,50	0,51	0,46	0,48	0,57	
Desvio-Padrão	0,12	0,17	0,15	0,15	0,15	0,17	

**Tabela 79** - Registo semanal de Cp para cada moldadora

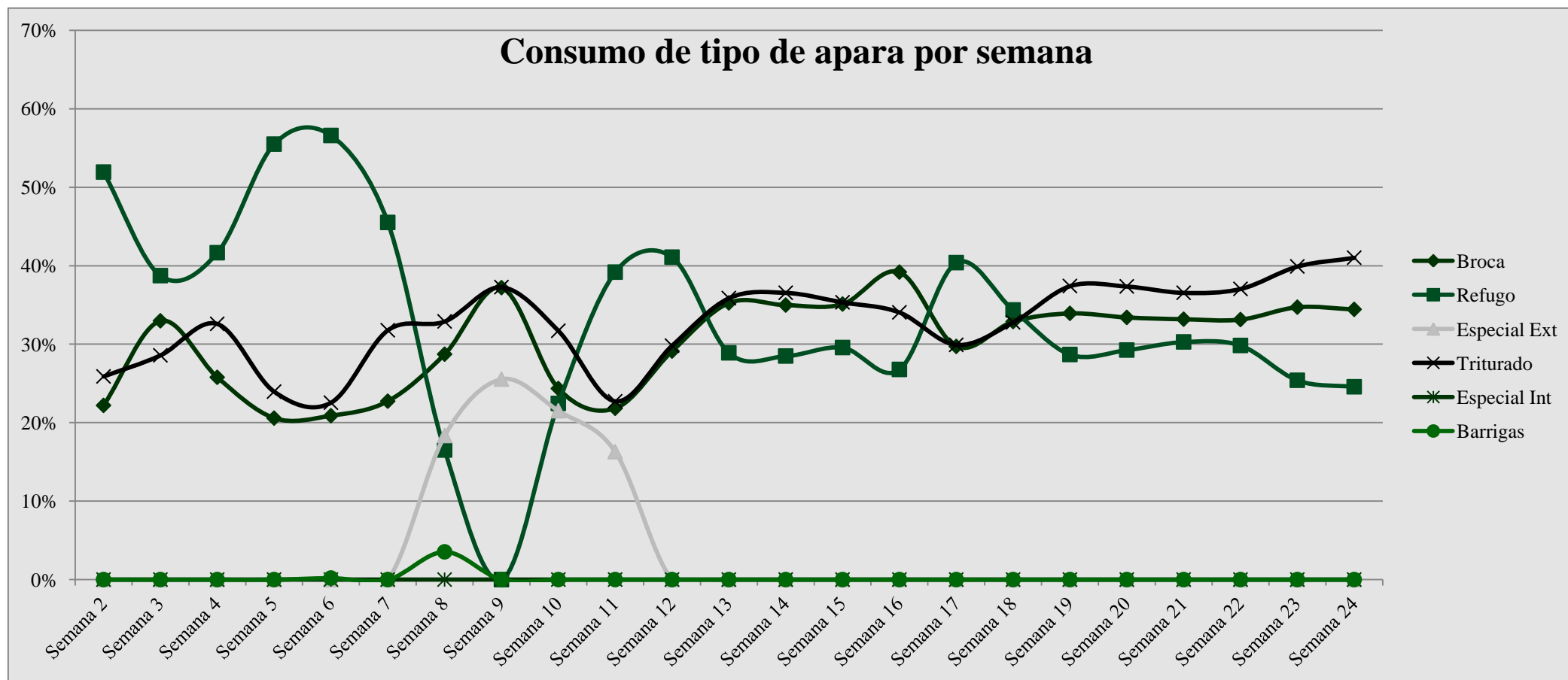
<b>Cp</b>	<b>Moldadora 1</b>	<b>Moldadora 2</b>	<b>Moldadora 3</b>	<b>Moldadora 4</b>	<b>Moldadora 5</b>	<b>Moldadora 6</b>	<b>Média Semanal</b>
<b>Semana 2</b>	0,90	0,86	0,99	1,09	0,88	0,93	0,94
<b>Semana 3</b>	0,84	0,99	0,96	0,94	0,85	0,88	0,91
<b>Semana 4</b>	0,85	0,87	0,87	0,86	0,94	1,00	0,90
<b>Semana 5</b>	0,92	0,88	0,98	0,93	0,92	1,02	0,94
<b>Semana 6</b>	0,97	0,88	1,14	1,04	1,04	0,76	0,97
<b>Semana 7</b>	0,86	0,90	0,93	1,00	0,90	0,89	0,91
<b>Semana 8</b>	1,06	1,11	0,82	0,81	0,99	0,89	0,95
<b>Semana 9</b>	0,91	0,96	0,93	1,15	1,15	1,17	1,04
<b>Semana 10</b>	0,86	0,76	0,78	0,85	1,04	0,98	0,88
<b>Semana 11</b>	0,86	1,03	0,92	0,77	0,96	0,92	0,91
<b>Semana 12</b>	0,98	0,98	0,97	1,00	0,97	1,22	1,02
<b>Semana 13</b>	0,94	1,28	1,12	1,06	0,96	1,06	1,07
<b>Semana 14</b>	0,80	1,21	0,81	1,14	1,00	1,20	1,03
<b>Semana 15</b>	1,07	1,06	1,14	0,97	0,85	1,24	1,06
<b>Semana 16</b>	0,97	0,99	1,06	0,90	1,02	1,15	1,02
<b>Semana 17</b>	1,01	1,22	1,09	0,96	0,89	1,20	1,06
<b>Semana 18</b>	0,88	1,17	0,99	0,83	0,89	0,97	0,96
<b>Semana 19</b>	1,04	1,35	1,05	1,03	0,91	1,05	1,07
<b>Semana 20</b>	0,68	1,08	0,94	0,79	0,89	0,92	0,88
<b>Semana 21</b>		1,19	1,12	1,00	0,96	1,18	1,09
<b>Máximo</b>	1,07	1,35	1,14	1,15	1,15	1,24	
<b>Médio</b>	0,93	1,03	0,98	0,96	0,96	1,03	
<b>Mínimo</b>	0,80	0,76	0,78	0,77	0,85	0,76	
<b>Desvio- Padrão</b>	0,08	0,16	0,11	0,11	0,08	0,14	



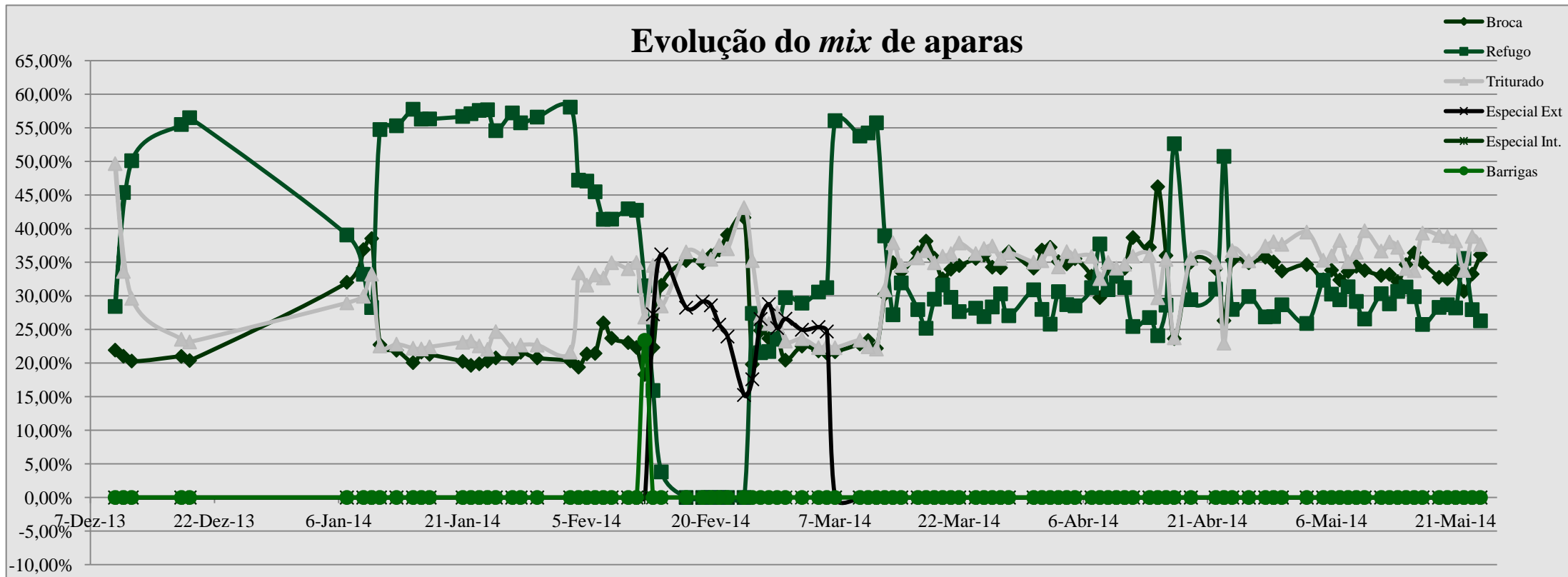
Anexo H – Análise do *Mix* de Aparas no setor da Moldação – Dados Auxiliares

Tabela 80 - Registo da apara consumida por semana na unidade industrial Champcork

	Broca	Refugo	Especial Ext	Triturado	Especial Int	Barrigas	TOTAL
Semana 2	22%	52%	0%	26%	0%	0%	100%
Semana 3	33%	39%	0%	29%	0%	0%	100%
Semana 4	26%	42%	0%	33%	0%	0%	100%
Semana 5	21%	55%	0%	24%	0%	0%	100%
Semana 6	21%	57%	0%	23%	0%	0%	100%
Semana 7	23%	46%	0%	32%	0%	0%	100%
Semana 8	29%	17%	18%	33%	0%	4%	100%
Semana 9	37%	0%	26%	37%	0%	0%	100%
Semana 10	24%	22%	22%	32%	0%	0%	100%
Semana 11	22%	39%	16%	23%	0%	0%	100%
Semana 12	29%	41%	0%	30%	0%	0%	100%
Semana 13	35%	29%	0%	36%	0%	0%	100%
Semana 14	35%	28%	0%	37%	0%	0%	100%
Semana 15	35%	30%	0%	35%	0%	0%	100%
Semana 16	39%	27%	0%	34%	0%	0%	100%
Semana 17	30%	40%	0%	30%	0%	0%	100%
Semana 18	33%	34%	0%	33%	0%	0%	100%
Semana 19	34%	29%	0%	37%	0%	0%	100%
Semana 20	33%	30%	0%	37%	0%	0%	100%
Semana 21	33%	30%	0%	37%	0%	0%	100%
Máximo	39%	57%	26%	37%	0%	4%	
Médio	29,5%	34,5%	4,3%	31,5%	0,0%	0,2%	
Mínimo	21%	0%	0%	23%	0%	0%	
Desvio-Padrão	6%	14%	9%	5%	0%	1%	



**Gráfico 15** - Evolução do consumo de cada tipo de apara (em %) por semana



**Gráfico 16** - Evolução do *mix* de aparas triturado (em %) por semana